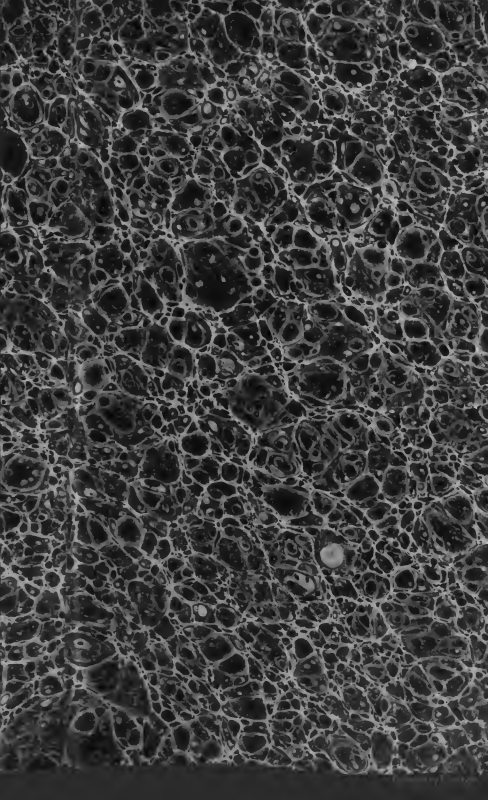














ELEMENTI
DI FISICA.

TERZA EDIZIONE



ELEMENTI

DI

FISICA

DEL PROFESSORE

GIACOMO MARIA PACI

DOTTORE NELLE SCIENZE FISICO-MATEMATICHE, PROFESSORE ED INCARICATO DEL GABINETTO FISICO DELLA REALE BIBLIOTECA PRIVATA DI S. M. SICILIANA, SOCIO ORDINARIO DEL REALE ISTITUTO D'INCORAGGIAMENTO, E DELL'ACCADEMIA PONTANIANA DI NAPOLI, CORRISPONDENTE DELLA REALE ACCADEMIA DELLE SCIENZE DI TORINO, DELLA SOCIETÀ DI SCIENZE FISICHE E CHIMICHE DI PARIGI, DELL'ACCADEMIA DI SCIENZE MEDICHE E NATURALI DI BRUSSELLES, DELL' I. E. ACCADEMIA DE' GEOGOFILI DI FIRENZE, DELLA PONTIFICIA ACCADEMIA DE' LINCEI DI ROMA, DELLE REALI ACCADEMIE DELLE SCIENZE DI LUCCA E DI PALERMO, DELLA GIOVINEA DI CATANIA, DELLA VELOBITANA DI MESSINA, DELLA CIVETTA DI TRAPANI, EC.



TOMO II.



NAPOLI
STABILIMENTO TIPOGRAFICO COSTER
1847.

LIBRO OTTAVO

DEL CALORICO.

CAPITOLO I.

CENNO DEI SISTEMI SUI FLUIDI IMPONDERABILI.

739. I fenomeni più ammirabili e sorprendenti sono senza dubbio quelli del calorico, dell' elettrico, del magnetismo e della luce. Dissipando questa infatti le tenebre dell'universo, ci rende sensibile la molteplicità degli esseri, e ne rileva la figura ed il colore; e producendo gli altri fluidi degli effetti di non minor meraviglia, destano egualmente la nostra curiosità, e vivamente c' interessano a conoscerne le leggi, e, se è possibile, a scoprirne le cagioni.

740. Alla intelligenza però di questi fenomeni oppone in gran parte un forte ostacolo la loro fugacità; poichè quelli, che non sono tanto passeggeri, sono di difficile spiegazione per altre ragioni. Essendo intanto essi degli effetti, debbono prodursi da delle cagioni. Or si ripongono queste da alcuni nelle note proprietà della materia, e da altri in alcuni fluidi sottilissimi inerenti a quei corpi, in cui i cennati fenomeni osservansi. Ma non potendosi ripeter questi dalla prima delle due cagioni, si deve necessariamente ammettere la seconda, anche perchè il calorico e la luce si propagano a distanze infinite dai loro centri di emissione, si riflettono, si rifrangono, e si polarizzano secondo i corpi ne' quali

s' imbattono ; questa trasmissione ha luogo attraverso non solo di tutti i corpi, ma anche del più perfetto vuoto che possa dal Fisico prodursi ; e l'elettricismo ed il magnetismo dan luogo pure a movimenti di traslazione, e producono in varii punti accumulamento di forze.

741. Benchè di questi fluidi s' ignori la natura, pure si riconoscono dagli effetti per sostanze particolari, eminentemente elastiche , estremamente sottili , discrete , incoercibili, imponderabili, e capaci di penetrare colla massima facilità nella maggior parte de' corpi. Diverse sono però le opinioni de' Fisici sull'azione di tali fluidi per la produzione de' fenomeni che ne derivano. NEWTON ammette l'ipotesi delle emissioni, e CARTESIO quella delle ondulazioni.

742. Visse l'autore della seconda ipotesi in un'epoca , in cui lo scibile umano somigliando ad un bosco antichissimo e popolato da mostri , che avea sparso il terrore su tutti i campioni mediocri , più non poteva esser tronco che dalla spada di un RINALDO o dalla scure di un CESARE (1). Divenuto ARISTOTILE l'unico legislatore delle accademie e delle scuole, l'ignoranza e l'impostura erano delle sue oscure teorie i più vigili e severi custodi. Avendo CARTESIO somigliato la filosofia de' suoi tempi ad un vasto, ma irregolare edificio , perchè costruito con diversi piani da successivi architetti; concepì il primo l'ardito progetto di distruggerlo con un altro sistema filosofico, per cominciare così la restaurazione di quella scienza, che più non esisteva, che nei soli gerghi dell'eroe di Stagira (2).

(1) LASSEBASQUE , *Filosofia* tom. 1 pag. 29.

(2) BULHE , *Storia della filosofia*, Milano, 1822, tom. 6.

743. Fondando egli la Cosmologia sull'idea della forza centrifuga comunicata alla materia, ne derivò la teoria de' vortici (†). Quantunque però sostituendo agli errori degli scolastici le sue vistose e bizzarre idee abbia egli guidato gli uomini alla ragione per mezzo della immaginazione; pur nondimeno è stato questo merito di sì poco valore, che se distrutto non avesse il Peripato, e stato non fosse il più grande matematico del suo secolo, non sarebbe il suo nome passato alla posterità.

744. Nato il gran NEWTON per gettare le salde basi delle scienze fisiche ed assicurarne il progresso secondo i nuovi principii di BACONE, rigettò non solo il fisico sistema di CARTESIO, ma benanche l'ipotesi delle ondulazioni da lui adottata per dar ragione de' fenomeni luminosi, e vi sostituì quella delle emissioni.

745. Si ammette con siffatta ipotesi l'esistenza di tanti fluidi diversi per quante sono le specie di fenomeni, di cui si vuol dare la spiegazione. Agevolata questa dalla semplicità dell'ipotesi, ne ha prodotto l'adozione in preferenza dell'altra presso la maggior parte de' Fisici, sino a che riconosciuta insufficiente per la spiegazione di altri fenomeni si è dovuto aver ricorso alla prima, che ad onta della generale riprovazione ancora sussisteva, benchè modificata da HUYGHENS, LEIBNITZ ed EULERO.

746. I fenomeni creduti inesplicabili coll'ipotesi Newtoniana sono quelli della diffrazione della luce, e

(†) Gli elementi di questa Cosmogonia sono di LEUCIPPO
● DEMOCRITO. DICTENS, *Origine delle scoperte*, tom. 2.

gli altri detti da TOMMASO YOUNG *d'interferenza*, noti per altro a NEWTON, benchè imperfettamente.

747. La ipotesi Cartesiana, con cui si cerca ora spiegarli, ammette l'esistenza di un fluido universale nello spazio e ne' corpi, detto *etere*, che vuol dire *fuoco*, perchè i Caldei che dapprima lo ammisero lo credettero di natura ignea. Questo fluido non solo regge l'universo, ma produce anche i fenomeni del calorico, della luce, dell'elettricismo, e del magnetismo. Costa esso di particelle elasticissime e sommamente penetranti, la di cui varia distanza è causa della sua diversa intensità e situazione. Fino a che è in riposo, non si manifesta affatto, cioè non produce alcun fenomeno; ma messo in moto dà luogo a quelli de' fluidi imponderabili.

748. La propagazione della luce è secondo HUYGHENS un effetto del moto ondulatorio impresso dal corpo luminoso alla materia eterea, come quello prodotto dalla caduta di un sasso in una massa di acqua; non potendosi ammettere in un fluido eminentemente elastico altro movimento che di vibrazione ed ondulazione, dalla di cui varia direzione ed intensità ripeter possansi i diversi fenomeni del calorico, della luce, dell'elettrico e del magnetico; come dal diverso numero delle vibrazioni delle corde e dell'aria derivano i varii suoni. Tutte quindi le eterree ondulazioni sono circolari, il loro centro è il corpo che v' imprime il moto, ed in ognuna di esse si concepiscono delle vibrazioni, le quali moltissime sono e celerissime nelle ondulazioni più vicine al centro, e di poco numero e di poca celerità a misura che da questo si allontanano. Ciò non ostante la velocità di trasmissione è in tutte uniforme, ossia nelle diverse ondulazioni le vibrazioni sono isocrone.

749. Il moto ondulatorio parte dal centro , cioè dal luogo del corpo vibrante , e si estende nell' immensità dello spazio. Ma quando il corpo dopo di aver eccitato col suo elaterio il movimento nell' etere ritorna al primiero suo stato , l' etere che immediatamente lo circonda e con cui è in contatto, retrocedendo produce un moto al primo opposto. Per distinguere questi due moti, dicesi di *condensazione* quello che si produce in avanti, e di *rarefazione* il suo contrario. Nella immensità dell' etere vi sono sempre due specie di movimenti ; ove questi avvenendo in contrarie direzioni scambievolmente s' impediscono, non si produce alcun fenomeno.

750. Tutte le diverse specie di ondulazioni, che solo dagli effetti arguir si possono , non si ripetono che dalla diversa elasticità delle molecole del corpo che mette l' etere in movimento. Anzi di tutti quei corpi , le di cui molecole sono in ogni possibile stato di vibrazione , è ognuno centro particolare di una specie di ondulazioni , le quali sono diverse, ed offrono tutte degli archi concentrici che si dilatano. Si riguarda quindi un corpo luminoso come il centro dello scuotimento che imprime alle eterree particelle con esso in contatto , e che comunicandosi da parte in parte finisce col far svanire le ondulazioni ; ed ogni raggio di luce come una serie di molecole , il di cui moto riducesi a delle piccole e ripetute oscillazioni. » Ciascuna delle particelle » componenti l' onda diviene essa pure , secondo HUYGENS , il centro di un' onda particolare , il di cui » arco finale tocca quello dell' ondulazione totale. Gli » archi quindi delle onde vicine da ogni parte s' inter

» secano, talchè le eterree particelle soggette sono a due
 » specie di azioni, una diretta secondo le linee perpen-
 » dicolari alla superficie dell' onda totale , e l' altra
 » che eseguita su trasverse direzioni deriva dalle scam-
 » bievole pressioni , che le onde esercitano le une su-
 » le altre nello stesso verso. Ma per la simmetrica si-
 » tuazione di queste onde, tanto fra esse, quanto riguar-
 » do all' onda totale , queste pressioni equilibransi e
 » scambievolmente distruggonsi ; talchè la sola azione,
 » il cui effetto resta inalterato, è quella che fa muovere
 » le particelle nel senso della perpendicolare». Poter-
 » dosi però alterare questa simmetria quando l' onda rade
 l' estremità de' corpi , le pressioni non distruggonsi af-
 fatto, e resta in azione una o più specie di ondulazioni
 capaci di produrre de' particolari fenomeni, di cui si ter-
 rà altrove discorso.

751. Ripetendosi dalle diverse specie di ondulazio-
 ni tutti i fenomeni de' fluidi imponderabili , si sono im-
 pegnati i Fisici moderni a valutarne per ogni fenomeno
 le ampiezze. Pregevoli sono all' uopo i risultati otte-
 nuti col calcolo da FRESNEL. Ha egli dimostrato che
 quando le ampiezze dell' eterree ondulazioni sono com-
 prese tra quattro decimi di millesimo di millimetro e
 sei in sette decimi della stessa frazione, esse danno la
 luce; che tutte le intermedie ondulazioni danno la serie
 di tutti i colori ; e che le ondulazioni de' raggi invisibi-
 li e calorifici ol trepassano in ampiezza sette diecimille-
 simi di millimetro.

752. Se i Fisici , che hanno adottato questa ipotesi ,
 non han potuto ancora applicarla alla spiegazione de' fe-
 nomeni elettrici ed elettro-magnetici ; sostengono però

che calorico e luce non sia che etereo movimento, e che quello da questa non differisca che per un diverso ordine di vibrazioni producenti ondolazioni di diversa lunghezza e durata. Intanto gli altri Fisici e tutti i Chimici continuano ancora a riguardare il calorico come un fluido particolare. Sembra infatti l'ipotesi Newtoniana più probabile della Cartesiana. Noi per altro limitandoci a descrivere i fenomeni calorifici e luminosi secondo la prima ed a renderne conto giusta la seconda, non mancheremo di paragonare le due ipotesi, e rilevarne ove uopo il richiegga l'incertezza o l'errore, per disporre il lettore a nuovi pensamenti e quindi ad ulteriori ricerche.

CAPITOLO II.

DEL CALORICO E DELLA SUA PROPRIETÀ ESPANSIVA.

753. Uno de' più poderosi agenti della natura, e che forse a preferenza degli altri richiama l'attenzione del Fisico, è certamente il *Fuoco*. Oltre il chiarore che esso diffonde, avvicinandoci ad esso ci fa sentire una impressione di distrazione o di solletico, detta *calore*, sensazione, che diviene tanto più viva e persino dolorosa, per quanto più ci appressiamo ai corpi in ignizione, nei quali la causa riscaldante si manifesta colla loro distruzione. Siffatta causa distinta un tempo col nome di *fuoco*, o *materia del calore*, dicesi ora *Calorico* (1), e consiste secondo l'ipotesi delle emissioni in un fluido sui

(1) Il *calorico* quindi è la causa ed il *calore* n'è l'effetto.

generis, sottilissimo, elasticissimo, penetrabile in tutti i corpi, ne quali è più o meno abbondantemente diffuso.

754. La quantità di calorico in un corpo contenuta non agisce contro le parti di questo con tutta la sua forza espansiva e divellente, ma ne serba una porzione per uscire dallo stesso. È questa tendenza contrastata da un grado di attrazione che al corpo lo attacca, e dalla resistenza del calorico de' corpi circostanti che tende egualmente a sprigionarsi. Cessando questo equilibrio per l'aumento del calorico in uno di questi corpi, esso ne cede agli altri una parte sino al ristabilimento dell'equilibrio. La tendenza del calorico a sprigionarsi da un corpo dicesi *tensione* per la somiglianza dello stato del calorico a quello di una molla tesa; e la quantità di questa tensione, espressa da qualche strumento o da noi avvertita, chiamasi *temperatura*, *temperie* o *calor sensibile* del corpo, capace di elevarsi od abbassarsi, ossia di accrescersi o diminuirsi secondo che lo stesso corpo si riscalda o si raffredda.

755. Essendo le particelle calorifiche dotate di una forza espansiva e disgregante, quanto più di calorico in un corpo si accumula, tanto più facilmente di questo separa le molecole con una forza maggiore di quella che le teneva unite; ed a misura che dal corpo esce, la forza attrattiva, non essendo più tanto contrastata, riprende il suo vigore, supera l'elasticità del superstito calorico ed avvicina le molecole del corpo. Contesta il volgo questa verità col noto adagio, che *il caldo dilata ed il freddo restringe i corpi*. Benchè gli ordinarii effetti di questi contrasti siano per noi insensibili, vi sono pur nondimeno delle circostanze in cui una delle

forze prevale sull'altra in modo che l'aumento o la diminuzione di volume, che ne risulta, sia valutabile.

756. Assicurati i Fisici da ripetute sperienze che tutti i corpi, qualunque sia il loro stato, si dilatano (§§. 443 - 448), si restringono e riprendono il loro volume, crescendo, scemando o ritornando nel primitivo grado l'azione del calorico su di essi, han costruito un istrumento per misurare i gradi di sua energia, ossia quelli della temperatura de' corpi. Questo istrumento, la di cui invenzione devesi al medico Napolitano **SEBASTIANO BARTOLI**, è quello generalmente conosciuto sotto il nome di *Termometro*. Lo costruì egli per valutare la temperatura delle acque termo-minerali del Bagnuolo, benchè secondo alcuni sia stato contemporaneamente immaginato da **GALILEI** in Firenze, e secondo altri da **DREBBEL** in Alkmar verso la fine del decimosesto secolo.

757. È l'aria il miglior corpo termoscopico, si per la sua squisita sensibilità alle piccolissime azioni del calorico, come per l'equabilità delle sue dilatazioni e contrazioni; ma richiedendo il termometro ad aria un apparato inatto ad ogni specie di ricerca, si è riserbato, come altrove dirassi, per le sperienze delicate. Scelto quindi a corpo termoscopico un liquido, si è tra i liquidi preferito il mercurio per aver provato **DE LUC** con varii esperimenti, e verificato poi rigorosamente **GAY-LUSSAC**, **PETIT** o **DULONG**, che le variazioni di questo liquido fra 0° e 100° corrispondono esattamente a quelle del calorico fra gli stessi gradi.

758. I comuni termometri vantano tutti la stessa costruzione. Costano essi di un tubo capillare α -

chiuso in un estremo, e terminato nell'altro da una piccola sfera (Tav. 10 fig. 1). Vuoto di aria è in parte ripieno di puro mercurio, che dilatandosi o restringendosi monta o discende secondo le variazioni di temperatura, segnando i gradi in una scala al tubo apposta. Si gradua questa immergendo la palla prima nel diaccio liquefatto, e poi nell'acqua distillata bollente. Segnato collo zero il punto ove il mercurio nel primo caso si arresta, si segna nel secondo l'altro al di là del quale cessa il metallo di ascendere. Lo spazio tra questi due termini compreso dividesi in parti eguali dette *gradi*. Gli spazii, che al di sopra ed al di sotto restano di questi termini, anche subiscono una egual divisione: i gradi superiori indicano un calore maggiore di quello dell'acqua bollente, e gli inferiori un freddo più intenso di quello del diaccio in liquefazione. Indicandosi col segno $+$ tutti i gradi superiori al zero, e col segno $-$ gli inferiori ad esso; chiamansi i *primipositivi* o di calore, e *negativi* o di freddo i secondi.

759. Se lo spazio intermedio si divide secondo DE LUC in 80 parti eguali, o gradi (1); dicesi il termometro di REAUMUR, per averlo il primo in tal modo costruito, benchè a spirito di vino (2). Se poi dividesi secondo CELSIUS in 100 parti per renderlo atto al calcolo decimale, chiamasi *centigrado* dalla divisione della sua scala, o *Svezzeze* dalla patria del suo autore. FAHRENHEIT divise la scala in 212 gradi, cominciandola dal punto

(1) *Rècher. sur les modif. de l'atm. et Idées sur la Météorologie*, p. 47.

(2) *Mem. de l'Ac. des Scien. de Paris*, an. 1730.

in cui vide abbassato il mercurio da un freddo naturale sentito in Danzica nel 1709 , e che si procura aspergendo la neve di cloridrato ammonico (sale ammoniaco) , e terminandola all' 80° di R. , ossia 100° di C. Quindi il 32° di questa scala corrisponde allo zero delle altre, e l'intervallo di queste comprende 180° di quella.

760. Corrispondendo dunque 180° di FAHRENHEIT ad 80° di REAUMUR ed a 100° di CELSIUS , si possono ridurre i gradi di una scala a quelli di un' altra. Trovasi infatti che

$$1.^{\circ} \text{ F.} = \frac{4}{9} \text{ R.} = \frac{5}{9} \text{ C.},$$

$$1.^{\circ} \text{ R.} = 2 \frac{1}{4} \text{ F.} = 1 \frac{1}{4} \text{ C.},$$

$$1.^{\circ} \text{ C.} = 1 \frac{4}{5} \text{ F.} = \frac{4}{5} \text{ R.}$$

764. Volendosi quindi ridurre, per esempio, un numero di gradi reaumuriani a gradi centesimali, ed al contrario; bisogna moltiplicare nel primo caso il detto numero per $\frac{5}{9}$, e nel secondo caso il numero de' gradi centesimali per $\frac{9}{5}$, o $\frac{4}{5}$. Volendosi però ridurre i gradi di R. o di C. a quelli di F., ed all'opposto, non si deve obbliare che corrisponde lo zero di R. e di C. al 32° di F.; al numero ottenuto colla riduzione dei gradi di R. e di C. a quei di F. (che segue moltiplicandosi i primi per $\frac{5}{9}$ ed i secondi per $\frac{9}{5}$) aggiunger devesi 32 , ed al contrario detrarsi quando i gradi di F. si riducono a quei di R. o di C. Così per esempio per la riduzione di 60° R. a gradi di F. si ha $60 \times \frac{5}{9} = 135 + 32 = 167 \text{ F.}$; ed all'opposto per quella di 167° di F. in gradi di R. si ha $167 - 32 = 135$, e quindi $135 \times \frac{4}{5} = 60$.

762. Si è nella costruzione de' termometri impiegato a preferenza degli altri liquidi il mercurio, perchè all'infuori di alcuni olii sostiene più di qualunque altro li-

quido il calore, e prima di gelare sostiene più di ogni altro liquido il freddo, ad eccezione dell'etere, dell'alcoole e di altro liquore spiritoso. Gelando infatti a -40° C. e bollendo a $+350^{\circ}$ C. è compresa la sua scala fra questi due termini. È quindi il mercurio all' uopo più atto dell'olio di lino usato da NEWTON (1), non potendo questo servire per i gradi di gran freddo; ed è anche più atto dello spirito di vino, che mentre sostiene i gradi di freddo non soffre per quanta industria si usi gli alti gradi di calore. È inoltre il mercurio più sensibile di ogni altro liquido all'azione del calorico, ond'è presto a seguire ogni cambiamento di temperatura. Tra 0° e 100° l'alcool si dilata infatti di $\frac{1}{7}$ del suo volume ed il mercurio di circa $\frac{1}{3}$, secondo le ultime sperienze di PETIT e DULONG. Le dilatazioni e contrazioni infine dello spirito di vino essendo irregolari, non corrispondono le sue indicazioni alle variazioni di temperatura, onde un termometro ad alcoole ed un altro a mercurio non sono mai tra loro di accordo.

763. Prescelto intanto a corpo termoscopico il mercurio, molta diligenza e precauzione richiedesi per la costruzione di termometri esatti e comparabili. Debbesi il mercurio purificare e dev'essere il tubo ben calibrato e disseccato; debbonsi prendere con esattezza i punti della neve che si fonde, e specialmente quello del vapore dell'acqua bollente; nella neve e nel vapore immerger devesi non solo la palla del termometro, ma anche la parte del tubo in cui è il mercurio; e la divisio-

(1) *Philosophical Transactions abridged*, tom. 4 — *Scala datum caloris et frigoris*; opus. Nuct. 1

ne de' gradi uniforme esser dee ad eguale (1).

764. Benchè i solidi siano dall'azione del calorico dilatati, pure l'argilla si restringe ed in un modo permanente (2). Non è ancora ben nota la causa di questo fenomeno particolare. Credono alcuni che l'argilla esposta all'azione del calorico perda sulle prime per evaporazione l'acqua che conteneva, e che le parti attenuandosi e rendendosi quasi subliquide ubbidiscano in seguito più facilmente alla forza di coesione. Senza occuparci della discussione di questa opinione avvertiremo con DE LUC che questo singolar fenomeno non ha alcun rapporto coll'azione meccanica del calorico che dilata i corpi, essendo ad esso opposta e permanente: ciò che mostra una modificazione di altra natura e non peranche ben nota. Comunque ciò sia, WEDGWOOD riguardando l'energia del calorico come proporzionale al restringimento dell'argilla, costruì uno strumento detto *Pirometro* per indicare le altissime temperature, indeterminabili per mezzo de' termometri. Costa esso di due regoli di ottone convergenti e stabilmente fissati su di un piano dello stesso metallo (Tav. 10 fig. 2). Nel canale da essi lasciato possono insinuarsi quanto più si restringono de' prismi di argilla di Cornovaglia, perfettamente secchi e lunghi quanto la più ampia apertura dello

(1) Tutte le precauzioni da usarsi per l'esatta costruzione dei termometri sono dettagliatamente espresse da BRÖR nel suo *Traité de Physique* tom. II. cap. 2.

(2) Anche il cuojo, la carne ec. esposti al fuoco diminuiscono di volume, ma per l'evaporazione e dispersione di alcune sostanze volatili, e pel cangiamento di composizione che soffrono a causa dell'azione calorifica.

stesso canale, maggiore essendo l'intensità del calorico a cui sono esposti. È segnata sui regoli una scala, il di cui zero corrisponde alla più larga apertura del canale, e che si estende a 240° . Al suo punto zero corrispondono 464° R., 1077° F., e circa 500° C.; ed ogni suo grado equivale a 132° F. e 72° C. Quantunque però siffatto pirometro fosse stato corretto giusta gli avvisi di DE LUC e GUTTON, pare le sue indicazioni non si reputano esatte. Si omette la descrizione degli altri pirometri, come quello di REGNIER e di DANIELL, costretti il primo sull'ineguale dilatazione di due metalli, ed il secondo sulla differenza di dilatazione del platino e del grafite, per non eccedere i limiti di un'opera elementare.

765. Dilatando il calorico tutti i corpi, determinar conviene i gradi di questa dilatazione. Le esperienze istituite dai Fisici per valutare quella de' solidi sonosi eseguite con un'istrumento impropriamente detto *pirometro*. Costa il più semplice di una sbarra di metallo AB (Tav. 10 fig. 3) stabilmente situata nell'estremo B mediante la vite C, mentre l'altro estremo libero A poggia sul braccio di una leva zancata che termina in un ago e gira su di un quadrante graduato. Dilatata la verga dall'azione del calorico emesso dagli accesi lucignoli D, si dilunga nell'estremo A, ed urtando l'ago indica coi gradi del quadrante la sofferta dilatazione. Impiegandosi diverse, ma eguali verghe metalliche, paragonar si possono le loro rispettive dilatabilità qualora si esponcano alla stessa azione calorifica. Attesa la somma piccolezza delle dilatazioni dei solidi, per renderle sensibili si è modificata la costruzione dello stru-

mento aggiungendovi ruote e leve; ma essendosi rese queste aggiunte cause di errori per l'attrito e pel grado di calore di cui partecipano, i pirometri sono tutti riusciti più o meno inesatti ed imperfetti.

766. Costando intanto gli strumenti in uso per le arti e per le scienze, di metalli o di sostanze alterabili dal caldo e dal freddo, e dalle vicende in generale del clima e delle stagioni; LAVOISIER e LA PLACE intrapresero un lungo e diligente travaglio per conoscere la ragione secondo cui si dilatavano tutti i metalli conosciuti all'epoca de' loro esperimenti. Situata orizzontalmente la sbarra metallica AB (Tav. 10 fig. 4), di cui conoscere vogliasi la dilatazione, su di un piano di vetro CD invariabilmente tenuto in situazione verticale; l'altra estremità B della barra poggia egualmente su di una lastra di vetro EF, mobile intorno ad un asse orizzontale G, un di cui estremo E fa muovere un cannocchiale diretto su di una mira HI posta ad una gran distanza. Lo allungamento della sbarra metallica per una linea fa percorrere al cannocchiale, quando la mira è alla distanza di 400 tese, 744 linee; il che facilitando la divisione della linea in 744 parti, rende valutabile una dilatazione di $\frac{1}{744}$ di linea. Una sbarra 6 piedi lunga è portata dalla temperatura del ghiaccio che si fonde a quello dell'acqua bollente. Egualmente pregevoli sono i lavori all'uopo di poi eseguiti da SNEATON, dal maggior generale ROY, da TROUGHTON, da WOLLASTON, e quelli specialmente di PETIT e DULONG consegnati in una memoria premiata nel 1818 dall'Accademia delle Scienze di Parigi (1). Risulta da essi che eguali quantità di ca-

(1) *Sur la mesure des temperatures etc. Ann. de Phys. et de Chim.* tom. 7.

terico producono in tutti i corpi solidi ineguali dilatazioni, come rilevasi dalla tavola seguente :

Tabella delle dilatazioni lineari di alcune sostanze solide da 0° a 100° C.

S O S T A N Z E	Dilatazioni in frazioni decimali.	Osservatori.
Vetro senza piombo	0,00089694	LAVOISIER e LAPLACE
Flint-glass inglese	0,00081166	
Cristallo con piombo.	0,00087199	
Rame.	0,00171733	
Ottone	0,00187821	
Ferro dolce battuto	0,00122045	
Ferro passato per trafil.	0,00123504	
Acciaio non temperato	0,00107915	
Acciaio temperato giallo ricotto.	0,00123956	
Piombo	0,00284836	
Stagno delle Indie.	0,00193765	
Stagno di Falmonth	0,00217298	
Argento di coppella	0,00190974	
Argento a 0,9 di finezza	0,00190868	
Oro di spartimento	0,00146606	BREGUET
Oro a 0,9 di finezza	0,00155155	
Oro lavorato, da 18 carati	0,00140904	
Oro fuso, <i>idem</i>	0,00152812	
Lega metà piombo e metà stagno.	0,00312671	BIOT BORDA
Zinco colato.	0,00224795	
Zinco passato per trafil.	0,00304553	
Mercurio in un tubo di vetro	0,01587300	
Platino.	0,00085655	

767. Poggia su questo principio la costruzione dei pendoli a compenso ed a correzione, composti di diverse verghe metalliche congegnate in modo che dilatandosi o restringendosi in senso opposto per le variazioni di temperatura scrbino sempre equidistante il cen-



tro di oscillazione da quello di sospensione (§. 427) e conservino l'isocronismo nelle oscillazioni. Vi poggia egualmente la costruzione de' termometri composti di metalli variamente dilatabili; il migliore de' quali è quello di BAEQUET, costando di una laminetta curvata a spira e formata di platino, di oro e di argento, che come più dilatabile è nell'esterno. Un estremo di questa spira è fissato in un punto, e porta l'altro una lancetta orizzontale, che su di un cerchio graduato gira in uno ed in un altro senso secondocchè la spira si allunga o s'accorcia (Tav. 10 fig. 5.). Questo termometro metallico benchè non sia esattissimo attesa qualche piccola irregolarità nel suo corso, è pure molto utile quando si vuol conoscere all'istante le più piccole alterazioni di temperatura.

768. Moltiplici sperienze all'uopo istituite provano che la dilatazione de' solidi prodotta dal calorico non è soggetta ad alcuna legge generale, dilatandosi ogni corpo non solo inegualmente collo stesso grado di calore, ma anche tanto di più quanto più è riscaldato. PERRI infatti e DULONG hanno verificato che la dilatazione del ferro, del rame e del platino cresce a misura che il grado del calore oltrepassa quello dell'acqua bollente, talchè tra 200° e 300° la dilatazione è maggiore di quella che ha luogo tra 100° e 200° ; ed in questo intervallo cresce più che fra 0° e 100° ; onde può conchiudersi in generale che la dilatazione si aumenta col calore, e quando il corpo è fusibile quanto più si avvicina questo alla fusione; ed al contrario il corpo quanto è più duro tanto meno si dilata.

769. Dei mezzi di valutare la dilatabilità de' liquidi

il migliore è il proposto da BOYLE, ed impiegato dai lodati DULONG e PETIT nelle loro pregevoli ricerche (1). È desso fondato sul principio idrostatico, che per l'equilibrio di due colonne liquide in un tubo comunicante le loro altezze debbano essere in ragion inversa delle loro densità (§. 628). Introdotta quindi il liquido, di cui si vuol conoscere la dilatabilità, nel tubo comunicante ACB (Tav. 10 fig. 6), di cui il braccio C sia perfettamente orizzontale, e perfettamente verticali i due A e B; monta in questi ad eguale altezza (§. 620); ma serbandosi costante la temperatura, per esempio, nel tubo A, e riscaldandosi gradatamente il tubo B, il liquido in questo contenuto per l'annientata temperatura diminuisce di densità e cresce di volume, onde si solleva in proporzione il livello (§. 628). Le pressioni delle due colonne verticali A e B sulla orizzontale C dovendo essere fra loro eguali, per la scambievole comunicazione, la quantità di cui si allunga la colonna B dev'essere proporzionale, onde indicar deve la dilatazione dal calore prodotta nel suo volume colla differenza delle altezze delle due colonne liquide.

770. Operando con questo, e con altri metodi si è conosciuto che i liquidi si dilatano inegualmente al pari de' solidi, ed ognuno si dilata più quanto è più riscaldato. I liquidi in generale coll'aggiunta di un grado di calore tanto più si dilatano quanto più si avvicinano al grado dell'ebollizione, e tanto meno quanto più da questo si allontanano. Approssimandosi quindi i solidi alla liquidità ed i liquidi all'ebolli-

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.* tom. 7 p. 125.

zione, la loro dilatazione si aumenta; onde conchiudesi che per un eguale aumento di calorico più si dilatano quei liquidi che più facilmente assumono lo stato aeriforme.

Tabella della dilatazione di alcuni liquidi per l'intervallo fra 0° e 100° C.

Acqua	$\frac{1}{11}$.
Acido idroclorico (d. 1,137)	$\frac{1}{17}$.
Acido nitrico (d. 1,40)	$\frac{1}{9}$.
Acido solforico (d. 185)	$\frac{1}{17}$.
Alcool (d. 0,817)	$\frac{1}{9}$.
Etere solforico	$\frac{1}{14}$.
Olii di oliva e di lino	$\frac{1}{11}$.
Essenza di terebinto.	$\frac{1}{14}$.
Acqua satura di sal marino	$\frac{1}{10}$.

771. Per misurare la dilatazione de' fluidi s'impiega il seguente apparato, che ha corrisposto perfettamente all'intento. Costa esso di una cassa di ferro bianco, AA' (Tav. 10 fig. 7) che poggia su di un fornello, e di cui due aperture laterali ed opposte B, B' ricevono l'una un termometro a mercurio C e l'altra un tubo ad aria D, che sono nello stesso strato orizzontale ed a qualche distanza al di sotto del livello del liquido contenuto nella cassa. Il coverchio di questa ha nel vertice tre aperture, due laterali che danno uscita al vapore, ed una in mezzo che riceve un termometro a mercurio verticale, la di cui palla E giunge al livello delle altre palle C e D. Tutto l'apparato può elevarsi dalla tem-

peratura di 0° sino a quella della ebollizione, e da questa riportarsi alla prima. Ogni grado di temperatura dee mantenersi costante per molto tempo a fin di osservare i termometri ed il tubo ad aria D. È questo graduato, cioè diviso in parti di eguale capacità, e fa d' uopo conoscere il numero di queste parti comprese dalla bolla ad una data temperatura. Vi s'introduce l'aria od il gas ch'è l'oggetto dello sperimento; e per rendere questo fluido perfettamente secco, dopo di aver ripieno il tubo D di mercurio, lo si adatta stabilmente all'altro tubo più grande F ripieno di frammenti di cloruro di calcio (muriato di calce) ed attraversato da un filo di ferro G, che potendosi introdurvelo e ritirarnelo penetra nel tubo piccolo in modo da giungere alla pallina D. Inclinando un poco l'apparato, il movimento del filo fa cadere successivamente delle goccioline di mercurio, ch'è rimpiazzato dal gas disseccato nel tubo F. Quando il tubo D è ripieno di gas sino ad un dato segno, che serve d'indice, l'operazione s'arresta, e si dispone nella cassa AA' nel modo rappresentato dalla figura. Ciò fatto si comunicano successivamente all'acqua della cassa diverse temperature crescenti o decrescenti, e si ritirano di tempo in tempo dalla cassa il tubo D ed il termometro C per rilevare il grado a cui corrisponde il fluido segnando il mercurio una data temperatura. Portando successivamente l'acqua della cassa dalla temperatura 0° C. a quella dell'ebollizione, o da questa alla prima, si può determinare con precisione il corso delle dilatazioni e contrazioni del gas e del mercurio del termometro; e togliendo da questi risultati gli effetti dovuti al dilatamento del vetro si ha l'assoluto volume dell'uno • dell'altro.

772. Così sperimentando ad un tempo GAY LUSSAC a Parigi (1) e DALTON a Manchester (2), han rilevato che tutti i gas permanenti ed i vapori, esposti ed eguali gradi di calore sotto eguali pressioni tra i due limiti del termometro centigrado si dilatano egualmente. GAY-LUSSAC infatti stabilisce che tutti si dilatano fra questi limiti, di 0,375 del loro volume a 0°, ossia di 0,00375 per ogni grado del detto termometro. DULONG e PETIT sostituendo l'olio all'acqua hanno esaminato gli effetti di temperature più elevate. Hanno essi conosciuto che i fluidi aeriformi, oltrepassati i due divisati limiti, perdono nel dilatarsi la loro uniformità, benchè la loro dilatazione anche sui 200° sia molto minore di quella che altri corpi subiscono; e che il vetro, il rame, il platino, ed il ferro al di là dei 200° si dilatino molto più del mercurio, e questo più di tutti i fluidi.

773. Grandissima è la forza con cui il calorico dilata i corpi, e tale è anche quella con cui le loro parti si contraggono qualora cessa di agire su di esse il potere disgregante. Si profitta dell'intensità della prima per animare delle macchine. Lo sforzo infatti di una verga di ferro, che si dilata per l'azione del calorico, è sì grande che si può impiegarlo per coniare delle medaglie. Tra due pilastri ben resistenti si situa orizzontalmente una grossa verga di ferro lunga in modo che poggiata con una estremità ad un pilastro preme coll'altra i punzoni, tra i quali è il pezzo di metallo da conarsi, contro il pilastro opposto, e così li tenga fissi. Riscal-

(1) *Annales de Chimie* tom. 43.

(2) *Memorie di Manchester* tom. 5.

dando sino all'incandescenza il mezzo della verga, si dilata questa con tanta forza che i punzoni s'imprimono sul pezzo di metallo tra essi situato.

774. Il fatto seguente prova poi l'intensità della forza, con cui le parti dei corpi si contraggono nel raffreddarsi. A prevenire il MOLARD la rovina di una delle gallerie del Conservatorio delle Arti e dei Mestieri di Parigi si valse della forza con cui il ferro dilatato dal calorico si riduce al primitivo volume. Minacciando le mura di cadere pel loro scambievole allontanamento, vi praticò egli delle opposte aperture, che poi incatenò con sbarre di ferro, le di cui estremità uscendo dalle aperture medesime serravansi contro il muro da grosse chiavarde di ferro a vite. Riscaldate gradatamente nel mezzo queste sbarre si allungavano, e le chiavarde rallentate da questo allungamento restringevansi e mettevansi in contatto col muro. Raffreddandosi poi le sbarre si contraevano, e nel contrarsi agivano contro le mura con tal forza che dopo di essersi poche volte ripetuta questa operazione, si rimisero esse a piombo ad onta del peso che su di esse gravitava.

775. Or crescendo coi gradi temperatura la dilatazione ed il volume dei corpi senza crescere il loro peso, cangia del pari la loro densità, che deve tanto più diminuire di quanto si aumenta la dilatazione (§.41). Per conoscere dunque i rapporti delle densità dei corpi, debbesi prima ridurli alla stessa temperatura, che per lo più suole scegliersi allo zero del termometro (§.689). Il *maximum* di densità di un corpo dovrebbe esser quello che risulta dallo stesso, ridotto al *maximum* di freddo produttibile; avendo in questo stato il *maximum*

di contrazione , ossia il *minimum* di volume. Non resta questa legge violata dall'aumento di volume che ha luogo in alcuni corpi quando si gelano, cagionandosi quest' anomalia da una disposizione che le loro molecole sono astrette a prendere passando dalla liquidità alla solidità. Si verifica questo nella solidificazione dell'acqua, del ferro fuso, del bismuto e dello zolfo. Il *maximum* di densità dell'acqua non è allo zero del termometro, ma secondo alcuni a $+4^{\circ}$, 4, e giusta le ultime delicate sperienze di CHURCHTON a $+5^{\circ}$, 6; anzi a misura che la sua temperatura si avvicina allo zero e va più oltre di esso, gela , si aumenta di volume, e giunge a galleggiare sull' acqua. È intanto sì vero che tale aumento di volume deriva dalla disposizione delle molecole acquose necessaria per la cristallizzazione, che l'acqua resta talora liquida anche ad una temperatura inferiore al grado della congelazione. Quando è in tale stato, basta comunicarle un movimento per potersi disporre le molecole nell' ordine dalla congelazione richiesto, od entro immergervi un corpo solido e più di ogn'altro un pezzo di ghiaccio per gelarsi all'istante tutta la massa (§. 81), determinandosi in questo modo l'ordine e la disposizione che si richiedono nelle molecole per assumere lo stato solido.

CAPITOLO III.

CAUSA DEI DIVERSI STATI DEI CORPI , E DEL CALORICO LATENTE.

776. La proprietà espansiva del calorico, di cui si è provata l'esistenza e si sono esposte le leggi, non è che

l'effetto di una forza che incessantemente si oppone a quella di attrazione. Tutti i corpi adunque non possono riguardare che come composti di molecole, su cui agiscono due forze fra loro contrarie, di cui l'una prevale sull'altra, od all'opposto; e fra le continue vicende della temperatura queste molecole continuamente oscillano intorno ai centri delle loro sfere di attività sensibile. Prevalendo la forza di attrazione il corpo è nello stato solido; ma se crescendo l'energia della forza ripellente eguaglia questa l'attraente, passa il corpo allo stato liquido; e non si riduce allo stato fluido, che quando continuando a crescere l'intensità della forza disagregante le particelle si allontanano al punto di rendersi insensibili le loro scambievoli attrazioni. All'opposto se indebolendosi la forza ripulsiva giunge ad eguagliare l'attrattiva, il corpo fluido ritorna allo stato liquido; e se maggiormente indebolendosi la prima delle due forze prevale su di essa la seconda, il corpo si solidifica.

777. Poichè ogni corpo perdendo od acquistando calorico può passare da uno stato in un altro, e la varia energia del calorico produce i tre stati principali dei corpi, di solidità, cioè, di liquidità, e di fluidità; può arguirsi che ogni corpo assumerebbe successivamente ciascuno di essi se si potesse comunicargli o sottrargli quella dose di calorico capace di indurlo ad un cambiamento di stato. Ogni corpo dunque passando dallo stato solido al liquido, o da questo al fluido, richiede un diverso grado di temperatura. Il mercurio infatti si fonde a -32° , e bolle a 280° R.; e l'acqua che si fonde a 0° bolle ad 80° R., e così degli altri. Vuolsi intanto

avvertire che lo stesso corpo esige sempre lo stesso grado di temperatura per cangiar stato. Posta l'ordinaria pressione atmosferica, il grado dell'ebollizione dell'etere è $39^{\circ}\text{C}.$, dell'alcool $79^{\circ}\text{C}.$, dell'acqua $100^{\circ}\text{C}.$, dello zolfo $200^{\circ}\text{C}.$; quello degli olii grassi è circa $300^{\circ}\text{C}.$, del mercurio $350^{\circ}\text{C}.$ Non tutti i corpi dunque si rendono liquidi e restano tali allo stesso grado, e nei medesimi intervalli di temperatura.

778. Atteso il triplice stato che può assumersi dai corpi, è chiaro che vincendo gradatamente il calorico la coesione de' solidi sino al suo totale annientamento, tra la solidità e la liquidità esser debbano degli stati intermedi. Giunti però i corpi nello stato liquido, sembra che ad ogni aumento di calore debban subito passare al fluido; poichè essendo la coesione esattamente bilanciata dalla forza ripellente del calorico nello stato liquido, a qualunque aumento di questa per mancanza di equilibrio, il liquido dovrebbe rendersi fluido. Dietro le ricerche dunque praticate dai Fisici per rintracciare le cause che prolungano lo stato di equilibrio, ossia lo stato liquido de' corpi, hanno essi scoperto esser queste la pressione dell'aria e quella del liquido su di se stesso. Anmentandosi infatti o diminuendosi la pressione atmosferica difficile o facile si rende l'ebollizione de' liquidi; non ignora il volgo che bollono i liquidi sulla cima de' monti ad un grado di calore minore di quello che si richiede al livello del mare; nel vuoto pnenmatico, ove la pressione atmosferica manca affatto, i liquidi facilmente evaporabili, come l'etere, si convertono immantinenti in fluidi; e JOHN ROBISON di Edimburgo ha con accurate sperienze provato che i liqui-

di bollono nel vuoto ad una temperatura minore per $74, \frac{1}{9}$ R. di quella che è loro necessaria per bollire all' ordinaria pressione atmosferica. Crede però GAY-LUSSAC che la temperatura dell' ebollizione varii indipendentemente dalla cennata pressione, rip etendola in generale dalla natura del corpo in contatto del liquido che bolle, dalla coesione delle parti di questo, e dalla resistenza opposta al cambiamento di stato come in ogni altro equilibrio di forze (1). Ma questa opinione non si è dagli altri Fisici adottata, attesa la comprovata influenza dell' atmosfera sui liquidi.

779. La meccanica pressione delle colonne liquide oppone all' azione del calorico il secondo ostacolo. La stessa quantità di acqua bolle infatti più presto se si espone al fuoco in un vase molto largo e poco alto, che in un altro molto alto e di stretto fondo, essendo minore nel primo caso la pressione delle colonne liquide sovrastanti.

780. Benchè la pressione atmosferica influisca sul prolungamento dello stato liquido de' corpi, pure questi appena liquefatti manifestano la loro tendenza a ridursi in vapori. Esponendo infatti all' aria in vasi aperti acqua ed alcoole, veggonsi questi due liquidi gradatamente mancare per la loro lenta evaporazione. Sembra dunque, che ogni piccola quantità di calorico che penetra nei liquidi, ne investa le molecole, che superando così ogni ostacolo si spiccano dalla massa liquida, si elevano in alto, e si situano negli interstizii dell' aria. La quantità quindi della evaporazione è in ragion diretta

(1) *Journ. de Phys.* tom. 88 pag. 55.

della temperatura, crescendo l'energia del calorico che n'è la causa. Resta solo ad avvertirsi che la quantità dell'evaporazione non cresce nella stessa ragione, ma in una più notevole di quella della temperatura; tra 10° e 20° si produce infatti una quantità di vapore molto maggiore di quella che fassi tra 0° e 10° . È ciò uniforme alla legge generale esposta per la dilatazione dei corpi (§. 768).

781. Dipendendo l'evaporazione dalla temperatura, ad eguali temperature dev' elevarsi dallo stesso liquido la stessa quantità di vapore, segua l'evaporazione nell'aria o nel vuoto. Solo nel primo caso è dessa tanto più lenta quanto l'aria è più densa, ed è quasi istantanea nel secondo. Non è dunque l'atmosfera che un ostacolo meccanico, il quale impaccia e ritarda, ma non impedisce la formazione dei vapori.

782. La forza del calorico però può far giungere la temperatura al segno di vincere la pressione atmosferica. Eguagliando in tal caso la forza espansiva, ossia la tensione ed elasticità dei vapori quella dell'aria circostante, si svolgono essi tanto prontamente quanto nel vuoto. Grosse bolle vaporose elevandosi dal fondo del vase vengono a rompersi alla superficie della massa liquida, che essendo così compresa da una specie di gorgogliamento, da un moto violento, e da un particolar romorio, dà luogo al fenomeno detto comunemente *ebollizione*. La trasformazione quindi de' liquidi in fluidi, cioè il passaggio dallo stato liquido al fluido non è che l'effetto del calorico.

783. Potendosi produrre i vapori a diverse temperature più o meno elevate, non tutti possono esser dotati della stessa forza espansiva, ossia della stessa tensione.

Or si è cercato di valutare la tensione de' vapori a diverse temperature , e specialmente degli acquosi , perchè impiegati come potenze motrici di molte utilissime macchine. Questa forza elastica de' vapori si calcola in millimetri di mercurio, misurandosi dall'energia con cui innalzano o deprimono una colonna di mercurio. Il primo ad istituire delle esperienze sui vapori acquosi fu ROBINSON ; DALTON poi nel 1802 ne eseguì delle più esatte tra 0° e 100° C.; ed il Dr. URE da Glasgow estese nel 1818 gli esperimenti da 0° a 155.° C. ; ma SOUTHERN ha ricercato la tensione de' vapori in temperature più elevate.

784. DALTON avendo riferito la tensione de' vapori di più liquidi a quelli dell' acqua , ginnse a dedurne approssimativamente una legge generale. Prese per punto di paragone quello in cui le loro forze si eguagliano , quello cioè in cui bollendo equilibrano la pressione atmosferica. E benchè questo punto sia in diversi liquidi a varie temperature, pure si accorse che per tutti i liquidi la forza elastica del vapore sia la stessa a distanze eguali dal punto della ebollizione, in cui le loro forze elastiche si eguagliano. Bollendo l'acqua a 100° C.; l'etere a 39 C.; ed il mercurio a 350° C. , i vapori di quella e di questi hanno in tal punto un'egual forza. Allontanandosi dunque da esso , per esempio, di 20°, la temperatura dell'acqua ad 80°C. e quella dell'etere a 19° C. saranno eguali.

785. Essendosi ricercato se i solidi forniscano dei vapori, si è rinvenuto che l'acqua ridotta nello stato di ghiaccio ne somministra anche a — 20° C. , secondo i calcoli di BIOR , e gli esperimenti di GAY-LUSSAC. Dee

dirsi però in generale che tutti i corpi, che si liquefanno ad un' alta temperatura, non debbono somministrare nell' ordinaria alcun sensibile vapore ; e volendosi addurre in contrario l'odore del rame e del piombo, si dee convenire che le particelle volatili di questi metalli non manifestano alcuna tensione.

786. È notabile la seguente osservazione fatta sul cangiamento di stato de'corpi dagli Accademici del Cimento, ripetuta ed ampiamente illustrata da BLACK, dal suo allievo WATT, e dai due IRWINE padre e figlio, ed ora confermata da tutti i Fisici. Un termometro contiguo alle parti di un corpo qualunque, per esempio, del ghiaccio, che dallo stato solido passa al liquido, resta stazionario finchè tutto il solido non abbia cangiato stato; mentre un altro simile termometro immerso in altra egual massa dello stesso corpo in istato liquido, per esempio, nell'acqua, esposta alla stessa azione del calorico che produce la fusione del solido, monta notabilmente. Così anche un termometro immerso in un liquido bollente rimane stazionario finchè tutte le parti non siansi rese fluide, come nel passaggio dalla solidità alla liquidità. Provano questi fatti che i corpi nel cangiamento di stato assorbono e fissano una quantità di calorico, che non ne aumenta la temperatura, impiegandosi a renderli liquidi o fluidi. Aumentandosi dunque la quantità di calorico nella fusione de' corpi o nella loro conversione in istato fluido, può affrettarsi il cambiamento di stato, ma non accrescersi la loro temperatura senza che un tal cangiamento non sia prima avvenuto.

787. Il calorico assorbito dai corpi nel cambiamento di stato senz'aumento di temperatura, fu detto dapprima

calorico combinato per dinotare la combinazione del fluido colle molceole de' corpi ; ma ora secondo BLACK dicesi *calorico latente*, non essendo sensibile al termometro, nè agli animali, a differenza di quello che manifestandosi in quello ed in questi chiamasi *calorico libero*. Alcuni intanto han proposto di chiamarsi *calorico di liquidità* quello assorbito dai solidi nella liquefazione, e *calorico di evaporizzazione* quello assorbito dai liquidi nel convertirsi in vapori.

788. Ricercata quindi la quantità di calorico che da molti solidi si assorbe nella loro liquefazione, si è trovato che la neve per fondersi ne rende latente quella, che può elevare la temperatura dell'acqua a 75° C. Mischiando infatti una libbra di neve a 0° ed un egual peso di acqua riscaldata a 75° , ne risultano due libbre di acqua a 0° : il che prova esser scomparsi e divenuti latenti i 75 gradi di calorico dell'acqua calda, perchè impegnati nella liquefazione della neve. Gli esperimenti istituiti al 16 febbrajo 1795 nella Scuola Politecnica di Parigi provano che il mercurio nel liquefarsi assorbe nel senso espresso per la neve $67^{\circ},8$ R. di calorico; secondo INWINE padre e figlio il piombo ne assorbe 214° ; lo zinco $219^{\circ},14$; lo stagno $222^{\circ},23$; il bismuto $244^{\circ},44$; la cera $77^{\circ},77$; lo zolfo $7^{\circ},86$; il bianco di balena $64^{\circ},44$ ec. benchè le esperienze dei due indicati soggetti non si reputino molto esatte. Più esatte poi sono quelle praticate dai Fisici per conoscere il calorico latente dei vapori acquosi; onde prendendo la media tra le determinazioni di WATT, SOUTHERN, LAVOISIER, RUMFORD ed URE si ha per $526^{\circ},94$ C., ch'è quasi cinque volte e mezzo maggiore del calorico ri-

chiesto per elevar l'acqua da 0° a 100° . Avendo URE ricercato il calorico latente di altri fluidi, ebbe quello dei vapori dell'aceto per $468^{\circ},33$ C.; dell'ammoniaca liquida in $447^{\circ},33$; dell'acido nitrico in $277^{\circ},72$; dell'alcool per $227^{\circ},77$; del petrolio in $81^{\circ},04$, e dell'olio di terebinto in $81^{\circ},04$. Dietro queste esperienze si è conchiuso che hanno i fluidi una quantità di calorico latente maggiore di quella dei liquidi, come questi più dei solidi.

789. Di leggieri quindi s'intende come la fusione dei corpi o la loro evaporazione possa produrre nei corpi circostanti un abbassamento di temperatura. Sciogliendosi un sale nell'acqua, assorbe da questa calorico e ne abbassa la temperatura; e più freddo produce nei corpi circonvicini la neve col sale, perchè dovendosi l'una e l'altro liquefare ritraggono da quelli maggiore quantità di calorico. Ungendosi la palla di un termometro di una sostanza facile ad evaporarsi, com'è l'etere la colonna mercuriale prontamente e notabilmente si abbassa verso zero. Perciò nei paesi caldi l'acqua ed i liquori potabili soglionsi raffreddare o tenendoli in vasi porosi, per i quali trasudando il liquido possa evaporare, o bagnando le bottiglie con liquidi di facile evaporazione. Sogliono i campagnuoli raffreddare le frutta spruzzandovi spesso dell'acqua ed esponendole al sole, onde l'acqua prontamente evaporandosi possa produrre il desiato effetto. LESLIE di Edimbourg facendo evaporare l'acqua nel vuoto ed assorbirne i vapori dall'acido solforico concentrato, la gelava all'istante. E Dr-BUSSY ha prodotto per mezzo dell'acido solforoso un freddo forte in modo da render liquidi parecchi gas.

790. La quantità di calorico, che i corpi assorbono e rendono latente nel cangiamento di stato, si emette e si rende sensibile quando ritornano allo stato primiero. Così i vapori acquosi, per esempio, abbandonando lo stato fluido per riprendere il liquido, perdono il loro calorico evaporante, che diventa libero; l'acqua gelando tramanda calorico; ed i metalli passando dallo stato di fusione a quello di solidità rendono sensibile molta quantità di calorico. Se dunque nel passaggio dei corpi dallo stato solido al liquido o da questo al fluido sparisce e si rende latente una data quantità di calorico; ed all'opposto nel ritorno dei corpi dallo stato fluido al liquido e da questo al solido il calorico fissato torna a comparire e si rende libero, può conchiudersi in generale che *ogni cambiamento di stato dei corpi è sempre accompagnato da assorbimento o da sviluppo di calorico.*

CAPITOLO IV.

DEL CALORICO SPECIFICO.

791. Il termometro, che determina i diversi gradi di temperatura dei corpi, prova che non sempre lo stesso grado di questa deriva dalla medesima quantità di calorico, e che quindi non sempre vale il principio che lo stesso effetto debba ripetersi dalla medesima cagione. Supponendo, per esempio, una libbra di acqua a 10° mista con un'altra riscaldata a 60°C. , la miscela avrà una temperatura media, cioè di 35° , onde l'acqua calda cede alla fredda 25° di calorico, e tale quantità basta a riscaldare allo stesso grado eguale quantità dello stesso

liquido. Meschiando all'opposto una libbra di mercurio a 0° con una libbra di acqua a 34° , ed agitando la miscela, la temperatura di questa sarà di 33° ; onde l'acqua perde 4° , ed il mercurio ne acquista 33° ; dunque la quantità di calorico che produce nell'acqua 4° di temperatura ne produce 33° nel mercurio; e per riscaldare allo stesso numero di gradi una massa di acqua eguale a quella del mercurio si richiede una quantità di calorico 33 volte maggiore. Ciochè dicesi per l'acqua e pel mercurio avendo luogo generalmente per tutti i corpi; può conchiudersi, che acquistando o perdendo diversi corpi eguali quantità di calorico, acquistano o perdono in generale delle temperature espresse da inegual numero di gradi; e che per acquistare o perdere un egual numero di gradi di temperatura assorbir debbono o trasmettere ineguali quantità di calorico.

792. La disposizione dei corpi, per cui ineguali quantità di calorico assorbito o ceduto producono eguali variazioni nella loro temperatura, dicesi loro *capacità pel calorico*; e la quantità di calorico necessaria a produrre nei corpi queste eguali variazioni di temperatura si è detta per la prima volta de WIEKE *calorico specifico*. A far intendere queste due definizioni supponiamo due vasi cilindrici della stessa altezza, ma di ineguale diametro, ripieni, sino allo stesso livello, di acqua che non si possa misurare. Aggiungendo nei due vasi una egual dose di questo liquido, la sua superficie non sarà più allo stesso livello, ma più elevata nel cilindro stretto e meno nel largo. Sottraendo al contrario dai due vasi una eguale quantità di acqua, il livello neppure sarà più lo stesso, ma sarà più basso nel cilindro più stretto. Met-

tendo finalmente in comunicazione i due recipienti , la superficie di livello del liquido sarà eguale in entrambi, benchè il vase più largo abbia perduto maggior liquido o ne abbia ricevuto di più del vase stretto , secondo l'aggiunzione o l'estrazione della cennata quantità di acqua. Or nell'applicazione di questo esempio la temperatura dei corpi è il livello dell'acqua nei vasi ; l'assoluta quantità di calorico che contengono è la quantità di acqua che non può misurarsi ; e la loro capacità si riferisce alle quantità di acqua che si aggiungono o si sottraggono a ciascun di essi, abbassando od elevando il livello di una conosciuta quantità. È quindi chiaro che i corpi di diversa capacità pel calorico ne esigono diverse quantità per elevare la loro temperatura allo stesso numero di gradi ; e che il calorico specifico di un corpo e la sua capacità pel calorico sono tra loro proporzionali, e seguono gli stessi rapporti.

793. Non potendosi valutare l'assoluta quantità di calorico in un corpo contenuta, e stabilire ancora i rapporti tra le assolute quantità di calorico dei vari corpi; si sono occupati i Fisici ed i Chimici della ricerca del calorico specifico.

794. Varii sono i metodi all'uopo impiegati. Il primo, ch'è quello dei miscugli , si attribuisce generalmente a CRAWFORD dotto Fisico Inglese , che cominciò ad usarlo sulle idee di WILKE ; ma il celebre BLAK già ne parlava nelle sue lezioni fin dal 1760. Consiste esso nell'immergere il corpo , di cui vuolsi determinare il calorico specifico, in un egual peso di acqua di diversa temperatura; nel far equilibrare la temperatura in ambi i corpi, ed esplorarla indi diligentemente col termome-

tro, e nell' esprimere col numcratore di una frazione la variazione di temperatura dell'acqua, e col denominatore quella del corpo che si esamina. Dinota questa frazione il rapporto del calorico specifico del corpo a quello dell' acqua. Mischiandosi, per esempio, con tutte le precauzioni una libbra di acqua alla temperatura 0°R. con una di limatura di ferro alla temperatura di 36°R. , si ha un miscuglio della temperatura di 4° . Il ferro dunque perde 32° di calorico e l'acqua ne acquista 4° . Or la quantità di calorico eh' eleva il ferro a 32° innalzando l'acqua alla temperatura di 4° , richiede l'acqua otto volte più di calorico del ferro per acquistare la stessa elevazione di temperatura. La capacità dunque del ferro riguardo a quella dell'acqua è espressa dalla frazione $\frac{1}{8} = \frac{1}{8}$, chiamando 1 il calorico specifico dell'acqua.

795. Producendo la stessa quantità di calorico diversi cambiamenti di temperatura in due corpi di egual peso, quello di essi che prova il cambiamento maggiore ha bisogno di minor quantità di calorico per variare di un grado, e di tanto minore per quanto la sua variazione è maggiore. La capacità dunque pel calorico, o il calorico specifico di due corpi è in ragion inversa delle variazioni di temperatura prodotte dalla stessa quantità di calorico ne' due corpi di egual peso.

796. Benchè questo metodo sia facile a seguirsi, è pure soggetto a molti inconvenienti. 1.^o Non si possono mescolare coll' acqua sostanze in essa in tutto od in parte solubili; ossia non si possono mescolare nè coll' acqua, nè fra di esse medesime, le sostanze che con quella e tra loro si combinano. 2.^o Nell' atto del miscuglio

le sostanze comunicano ai vasi, all'aria, ed ai corpi circostanti una notevole quantità di calorico difficilmente valutabile. 3.° Le sostanze gassose mischiansi coll'acqua in sì piccola quantità, che non si può contare sulla temperatura del loro mescolgio. Per queste ed altre cause di errore (1) fu da LA PLACE e LAVOISIER inventato il *calorimetro*.

797. Costa questo ingegnoso strumento di tre circolari e concentriche cavità *a*, *b*, *c* (Tav. 10 fig. 8). L'intervallo *aa* si empie di ghiaccio, la di cui acqua di fusione scorre pel rubinetto *D*; e l'intervallo *bb* si empie pure di ghiaccio pesto, la di cui acqua di fusione cola dal rubinetto *E*. Arrestato così il calorico atmosferico ed assorbito dal primo strato di ghiaccio *aa*, non può mai penetrare sino al secondo *bb* e liquefare una parte di ghiaccio; ed il calorico interno, cioè quello che si comunica dal corpo rinchiuso in *C*, è interamente assorbito dal secondo strato di ghiaccio *bb*, che scioglie, senza poter agire su quello del primo, e molto meno diffondersi nell'atmosfera. S'intende quindi facilmente la ragione della costruzione di questo strumento, e l'uso che può farsene per la soluzione di varii problemi relativi alla capacità. Una libbra di ghiaccio a 0° avendo bisogno per fondersi di 60°R., ossia di 75°C.; non s'impiega questa quantità di calorico che per liquefarla. Ponendosi dunque successivamente nella gabbia di ferro *C*, più corpi di diversa natura, ma dello stesso peso, riscaldati tutti a 75°, i loro calori specifici saranno nel

(1) DE LUC *Introd. à la Phys. Terrestre*, tom. 1 p. 231 et suiv.

rapporto de' pesi del ghiaccio fuso. Nell'uso di questo processo il corpo deve stare nel calorimetro almeno per dieci ore per assicurarsi di essersi raffreddato sino a 0° , e raccogliet debbesi e pesare diligentemente il ghiaccio da esso fuso, che gronda dal rubinetto E. Così operando si sono ottenute le capacità delle seguenti sostanze :

*Tabella delle capacità determinate da
LA VOISIER E LA PLACE.*

N O M I DELLE SOSTANZE	CAPACITÀ
Acqua.	1,0000
Piombo	0,0282
Mercurio	0,0290
Stagno	0,0475
Ossido rosso di mercurio	0,0501
Ferro battuto.	0,1105
Vetro senza piombo.	0,1929
Solfo.	0,2085
Calce viva	0,2169
Olio d'oliva	0,3096
Acido solforico , densità 1,87.	0,3346
Acido nitrico , densità 1,30	0,6614
Soluzione di nitro (nitro 1 , acqua 8).	0,8187

798. Benchè ingegnoso sia un tale istrumento ed il modo di usarne , pure non va esente da imperfezioni. Non sempre il ghiaccio conserva la stessa temperatura di 0° , ed una parte dell'acqua fusa è talora da esso assorbita , e talora anche gela. Perciò i Fisici moderni

hanno ripetuto le osservazioni sulle capacità secondo il metodo dei mescoli o quello del raffreddamento. Quest'ultimo metodo inventato da MAYER (1), perfezionato da LESLIE (2), e praticato da DESPRETZ (3), non ha acquistato una soddisfacente precisione che per opera di DULONG e PETIT. È desso fondato sul principio che due superficie eguali ed egualmente raggianti perdono nello stesso tempo una eguale quantità di calorico quando hanno la stessa temperatura. Supponendo quindi la capacità di un piccolo vase di argento, di pareti oltremodo sottili e levigate, successivamente ripiena di diverse sostanze polverizzate e portate alla stessa temperatura; le quantità di calorico perdute nel primo istante del loro raffreddamento saranno costantemente fra loro eguali; e se per l'una delle sostanze la velocità del raffreddamento è doppia di quella dell'altra, se ne può conchiudere che la sua capacità è la metà quando il peso ne sia eguale; poichè perdendo la stessa quantità di calorico, la sua temperatura si abbassa di un doppio numero di gradi. Anche questo metodo però esige delle correzioni; non avendo le diverse polveri contenute nel vase lo stesso peso, e dovendosi tener conto del calore proprio del vase di argento in cui si opera.

799. Il miglior mezzo di valutare il calorico specifico de' fluidi è quello di far attraversare eguali volumi di varii gas prima da una serpentina immersa nell'olio ele-

(1) *Ann. de Chim.* tom. 30 p. 46.

(2) *On heat*, pag. 240.

(3) *Memoire sur la Chaleur latent des diverses vapeurs*, negli *Ann. de Chim. et de Phys.* Paris 1823 tom. 24, et tom. 6 p. 196.

vato per tutti i gas alla massima temperatura, e poi da un'altra serpentina circondata di acqua fredda di noto peso. Ogni gas prima si riscalda, cioè si porta alla stessa temperatura dell'olio; nel passar poi per la seconda serpentina, che funziona da calorimetro, si raffredda; ed il calorico dal gas perduto eleva la temperatura dell'acqua. La quantità del calorico dal gas abbandonato è quindi proporzionale all'eccesso della temperatura del calorimetro su quella dell'ambiente. I risultati ottenuti da LAROCHE e BERARD agendo in tal modo sono i seguenti:

Tabella dei calori specifici de' gas.

N O M I DELLE S O S T A N Z E	CAPACITÀ a volumi eguali, essendo quello dell'aria = 1.	CAPACITÀ a masse eguali, essendo quella dell'aria = 1.	CAPACITÀ a masse eguali, essendo quella dell'acqua = 1.
Aria atmosferica. .	1,0000	1,0000	0,2669
Gas idrogeno. . .	0,9033	12,3401	3,2936
—ossigeno . . .	0,9765	0,8848	0,2361
—azoto	1,0000	1,0318	0,2734
—ossido di carbonio	1,0340	1,0805	0,2884
—acido carbonico..	1,2588	0,8280	0,2210
—ossido di azoto..	1,3503	0,8878	0,2369
—olio faciente . .	1,5530	1,5763	0,4207
Vapore acquoso. .	1,9600	3,1360	0,8470

800. Per lungo tempo non si era scoperto alcun rapporto tra la capacità de' corpi pel calorico e le altre loro proprietà; ma DULONG e PETIT avendo diligente-

mente praticato il metodo per raffreddamento (§. 798) hanno ottenuto de' risultati, che rendono più probabile ed esteso il *sistema atomistico* della composizione dei corpi. Dalle loro sperienze si è dedotto che la capacità dei tredici corpi da essi esaminati è in un costante rapporto col peso dei loro atomi; talehè moltiplicato questo per quella somministra per tutti la stessa quantità, come dalla seguente tavola rilevasi.

Nomi delle sostanze	Calorici specifici.	Pesi relativi degli atomi.	Prodotti del peso di ogni atomo per la capacità corrispon- dente.
Bismuto. . .	0,0288	13,30	0,3830
Piombo. . .	0,0293	12,95	0,3794
Oro.	0,0298	12,43	0,3704
Platino. . . .	0,0314	11,16	0,3740
Stagno. . . .	0,0514	7,35	0,3779
Argento. . .	0,0557	6,75	0,3759
Zinco.	0,0927	4,03	0,3736
Tellurio. . .	0,0912	4,03	0,3675
Rame.	0,0949	3,957	0,3755
Niccolo. . . .	0,1035	3,69	0,3819
Ferro.	0,1100	3,392	0,3731
Cobalto. . . .	0,1498	2,46	0,3685
Solfo.	0,1880	2,011	0,3780

801. Or questi risultati indicanti la capacità degli atomi di diversa natura sono tanto fra loro approssimanti, che le loro piccolissime differenze reputar si possono errori inevitabili nelle misure di capacità, o nelle analisi chimiche che servono di base al calcolo. Perciò Dulong e Petit conchiusero che *gli atomi di tutti i corpi semplici hanno esattamente pel calorico la stessa ca-*

capacità, e questa capacità sembra variare nei diversi corpi, contenendo questi un differente numero di atomi sotto eguali masse. Per gli atomi composti i dotti sperimentatori non han potuto di altro convenire se non che dell'esistenza di un semplice rapporto tra la capacità degli atomi composti e quella de'semplici (1).

802. Col metodo del miscuglio hanno essi bensì confermato l'opinione di DALTON, di crescere, cioè, le capacità pel calorico colla temperatura. Il ferro infatti da 0° a 100°C . ha la capacità di 0, 1098, e da 0° a 300°C . quella di 0, 1218; il mercurio da 0° a 100°C . ha la capacità di 0, 0330, e da 0° a 300°C . l'altra di 0, 0350; e così degli altri corpi da essi esaminati, talchè può probabilmente riguardarsi questo risultato come generale.

803. HAYKRAFT inoltre inferisce dalle sue ricerche, che la capacità dei fluidi secchi è nella ragion inversa della loro densità, ossia che tutti i fluidi dello stesso volume hanno sotto la stessa pressione la medesima capacità (2). Ed AVOGADRO crede aver trovato il rapporto tra la capacità dei gas pel calorico ed il loro potere di rifrangere la luce (3).

804. DESORMES e CLEMENT infine ricercando un rapporto tra il calorico specifico dello spazio vuoto a quello dell'aria, lo hanno dedotto dalle esperienze :: 30,24: 80 :: 377: 1000; e tentando di determinare l'assoluto zero di temperatura, di calcolare cioè l'assoluta quantità di calorico, che sottratta da un corpo di data temperatura ne lo priverebbe del tutto, hanno ottenuto

(1) *Ricerche sopra alcuni punti importanti della teoria del calore nel Giornale di Fis. e Chim.* vol. 8 e 9.

(2) *Annales de Chim. et de Phys.* Paris 1824 tom. 26.

(3) *Giornale di Fisica e Chimica ec.* Pavia 1825 tom. 8.

come a quantità media $266^{\circ},66$, ossia hanno stabilito nel termometro centigrado lo zero assoluto di temperatura a $266^{\circ},66$. Benchè queste ricerche siano da un lato contrastate e dall' altro vigorosamente difese, pure meritano di non essere ignorate.

CAPITOLO V.

DEL CALORICO RAGGIANTE.

805. Esposti gli effetti dell' azione del calorico sui diversi corpi, è d' uopo considerarlo in se stesso, nelle sue proprietà, cioè, e libero da ogni ostacolo che le molecole dei corpi potessero opporgli. In questo stato esercita esso la sua forza espansiva in modo che le sue particelle eseguono un rapido moto di traslazione in linea retta sino a che non incontrano opposizione alcuna. Traslocandosi tutte queste innumerevoli parti come in tante file, lasciano fra esse alcuni intervalli molto maggiori del loro diametro; onde incrociandosi queste file in ogni senso, le molecole di ciascuna serbano sempre libero l'adito per attraversare le direzioni delle altre, talchè il moto generale affatto non turba i moti parziali. Facilmente quindi intendosi come intorno al corpo, da cui emana il calorico, tutte queste filze di molecole costituiscono una sfera calorifica, e come nello spazio, in cui esso liberamente si propaga esista in qualunque temperatura una innumerabile quantità di raggi dello stesso fluido, che si muovono in ogni direzione; per cui ogni punto di questo spazio è come un doppio centro, da cui partono, ed a cui tendono da ogni lato, incalcolabili e non interrotte serie di questi stessi raggi.

806. Benchè gli Accademici del Cimento (1), MARIOTTE (2) e LAMBERT avessero conosciuto ed in qualche modo sperimentato il calorico raggiante; però SGHIELE fu il primo ad esaminarlo filosoficamente (3). Accortosi egli che il calorico uscendo dall'apertura di una stufa si lanciava nell'aria circostante in linea retta; osservò che quantunque avesse egli agitata l'aria che era innanzi la porta della stufa, pure la direzione rettilinea de' raggi in alcun modo non si alterava. Essendo poi provato da una esperienza di RUMFORD che questo irraggiamento ha luogo egualmente in uno spazio perfettamente vuoto; si è dai Fisici conchiuso che il calorico si trasmetta a grandi distanze ed anche attraverso di uno spazio vuoto di materia, come attraverso dell'aria atmosferica e degli altri fluidi elastici.

807. Assicurata l'esistenza del calorico raggiante, si è cercato di determinarne la velocità. Affermava il celebre PICTET che l'intervallo di circa 69 piedi è percorso in un tempo così breve da non potersi misurare con alcuno istrumento; ed ha ottenuto il Cav. MELLONI l'istantaneità della trasmissione calorifica su di uno spazio di 357 piedi. Quindi non senza fondamento si attribuisce a questa propagazione l'istessa velocità della luce. E quantunque pei recentissimi esperimenti di WAIDE sembrerebbe esser questa velocità $\frac{4}{5}$ di quella della luce, pure le molte analogie scoperte fra la luce

(1) *Saggi di naturali esper. fatti nell'Accademia. del Cimento*, pag. 176.

(2) *Traité des couleurs*, 1717 pag. 288.

(3) *Traité chimique de l'air et du feu*, traduit par DIETRICH. 1781 pag. 118.

ed il calorico raggiante ci autorizzano ad ammettere la prima deduzione..

808. Negli esperimenti necessarii ad indagare le leggi dell'irraggiamento del calorico si dee tener conto di sì piccole variazioni di temperatura, che sfuggirebbero ai termometri ordinarii. Perciò se ne sono inventati dei nuovi molto più sensibili, dei quali i più perfetti sono il *termoscopio di RUMFORD* (1), ed i *termometri differenziali* di *LESLIE* e di *HOWARD*.

809. Non è il termoscopio di *RUMFORD* che un tubo di vetro piegato ad angoli retti nelle due estremità, terminanti nelle sfere A, B (Tav. 10 fig. 10). Nel mezzo del braccio orizzontale vi è una piccola colonna C di liquido colorato, come, per esempio, di acido solforico, che dicesi *indice*; ed a questo braccio è applicata una scala che ha lo zero nel mezzo ed i gradi nell'una e nell'altra parte dello zero. Riscaldando egualmente le sfere A e B, per l'eguale dilatazione dell'aria in esse rinchiusa il liquido resta stazionario; ma riscaldandone una poco più dell'altra, il liquido spinto movesi verso la sfera meno calda.

810. Il termometro differenziale di *LESLIE* è un lungo tubo di vetro curvato presso a poco secondo la forma della lettera U (Tav. 10 fig. 11), di un diametro alquanto maggiore di quello dei termometri ordinarii, e terminato da due globetti pieni di aria, uno de' quali B dicesi *globo*, o *palla focale*. Al braccio della palla A è annessa una scala, al di cui zero corrisponde il livello

(1) *An enquiry concerning the nature of heat etc.* e per estratto nella *Bibl. Brit.* tom. 25.

di una quantità di acido solforico tinto in rosso dal carminio, di cui è piena la parte orizzontale. È questa scala fatta in modo che a 40° corrisponde 1° del termometro centigrado, ed a tutti i 100° corrispondono 10°C . Vi sono anche de' gradi sotto lo zero. Quando il liquido è allo zero della scala, l'aria de' due globi A e B ha la stessa temperatura; ma quando esso si eleva da questo termine o vi si abbassa, l'aria della palla focale B è più o meno calda di quella rinchiusa in A; e questa differenza di temperatura è in ragion diretta della elevazione o della depressione del liquido dal termine di livello 0° . È per ciò che questo strumento indica la differenza delle temperature delle parti dello spazio occupate dai due globi A e B, donde ha preso il suo nome. LESLIE ha molto accresciuto la sensibilità del suo strumento coprendo di uno strato di nero-fumo, affumicando cioè il bulbo focale, e coprendo l'altro di una foglia metallica lucente.

811. Sostituendo in questo strumento all'aria il vapore alcoolico od etereo, si ha il termometro differenziale di HOWARD, molto più sensibile dei due antecedenti. Non potendosi graduarlo al pari degli altri, indica in generale le sole alterazioni di temperatura.

812. Nel far uso di questi strumenti, potendo l'azione calorifica di un corpo estendersi dalla palla focale all'opposta, e confondersi le rispettive irradiazioni calorifiche di due corpi quando si approssimano l'uno ad una palla e l'altro all'altra; è d'uopo porre in mezzo alle due palle un piano divisorio formato di cartone dorato, detto *paracalorico*.

813. L'altro apparecchio reso ora celebre per le iu-

interessanti scoperte dell'illustre Prof. Cav. MELLONI, è il termo-moltiplicatore immaginato dal Cav. NOBILI. Consistendo esso in una pila di due metalli alternati e saldati insieme, bismuto ed antimonio, fornita di un galvanometro (1); dagli effetti elettro-magnetici indicati da questo strumento deduce il dotto autore i diversi rapporti quantitativi dell'azione calorifica dei raggi; prendendo per base delle sue deduzioni la proporzionalità esistente fra le impressioni ricevute dalla pila termo-elettrica, e le quantità di calorico emesse dalle sorgenti raggianti.

814. Si compone adunque l'apparato del MELLONI di un galvanometro G (Tav. 23 fig. 3), le deviazioni del di cui ago servono ad indicare l'intensità della corrente, che il calore irraggiato dalla sorgente L sviluppa agendo sulla pila termo-elettrica sita in P. La superficie *b* della pila coperta di nero-fumo riceve i raggi calorifici, l'altra *a* è difesa da una specie di coperchio, che si chiude a cerniera: *m*, *n* sono i due capi metallici del galvanometro, che comunicano cogli estremi della pila. In alcuni esperimenti la pila termo-elettrica si circonda di uno specchio metallico di forma conica, aperto verso la sorgente calorifica. Dovendo questa sorgente non esser la stessa nei diversi esperimenti, si usa ora la lampada alla LUCATELLI L, ora una spirale di platino A (Tav. 23 fig. 4) che si tiene incandescente in contatto della fiamma dell'alcool; ora una lastra di ottone B affumicata e scaldata al di dietro da una lampada; ed ora un vase C

(1) Nel Lib. XIII si darà un dettagliato sviluppo di questo interessantissimo strumento.

ripieno di acqua calda. Hanno quindi queste tre sorgenti una temperatura molto diversa; la più intensa è quella del platino incandescente.

845. Presentandosi al termoscopio di LESLIE, od alla pila termo-elettrica un corpo caldo, l'intensità delle calorifiche irradiazioni diminuisce al crescere della distanza. LAMBERT fu il primo a dimostrare che questo decremento segue la ragione dei quadrati delle distanze; talchè collocati dei termometri simili alle distanze 1, 2, 3... da un corpo riscaldante, le loro temperature sono come 1, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$... Avendo però LESLIE sostenuto che l'energia di questa irradiazione segue la semplice ragione inversa delle distanze; RICTIE, MELLONI, e ZANTEDESCHI con decisivi esperimenti han provato l'erroneità di questa conclusione. Anche la ragione matematica ci convince di questa legge. Supposto un corpo caldo posto nel centro di più sfere concentriche, ognuna delle quali separatamente presa riceva sulla sua superficie la stessa quantità di calorico, essendo le loro superficie come i quadrati de' loro raggi, che sono le distanze del corpo caldo da esse, l'intensità del calorico su di ognuna delle sfere sarà in ragione inversa del quadrato del suo raggio, o della distanza della sua superficie dal corpo caldo.

846. Collocando LESLIE il vase A (Tav. 10 fig. 12) ora di stagno ed ora di latta, ripieno di acqua più o meno calda, rimpetto allo specchio parabolico di lucidissimo metallo, nel di cui foco era la palla focale del suo termometro differenziale; trovò l'emissione del calorico raggiante in ragion diretta della differenza delle temperature dei corpi caldi e dell'aria. Secondo però

gli esperimenti di DELAROCHE l'irradiazione cresce in ragione più rapida di quella della temperatura; talchè raddoppiandosi o triplicandosi l'eccesso di temperatura, l'effetto della irradiazione si aumenta in proporzione maggiore di quella di uno a due, o di uno a tre rispettivamente.

817. L'intensità del calorico raggiante varia ancora proporzionalmente all'estensione delle superficie irraggianti. Presentandosi infatti successivamente al termoscopio munito dello specchio sferico, come nel precedente esperimento, una serie di cubi di latta, pieni tutti di acqua egualmente calda, ad eguale distanza, le di cui facce non differiscano che in estensione; gli eccessi di temperatura indicati dal termoscopio crescono coll'estensione della superficie, da cui il calorico si emette.

818. Con accurati esperimenti ha provato lo stesso LESLIE che l'intensità, o per meglio dire la quantità di calorico, non è eguale in tutti i raggi che partono da un punto A (Tav. 10 fig. 13) di una superficie irraggiante; essendo massima nella direzione, ossia nel raggio AB normale all'elemento AD della superficie irraggiante, e decrescendo nei raggi obliqui come AC (1); probabilmente perchè questi, che vengono dall'interno del corpo raggiante, attraversandone una maggior parte fanno una perdita maggiore. Tanto si prova collocando innanzi al termoscopio T (Tav. 23

(1) È questo decremento proporzionale al coseno dell'angolo BAC (Tav. 10 fig. 13), che fanno i raggi obliqui col raggio normale AB; cioè al seno dell'angolo CAD detto di emissione.

fig. 5) il vase di latta C, che può inclinarsi per ogni verso, essendo mobile in O, e ripieno di acqua calda. Resa la superficie irraggiante di questo vase perpendicolare all'asse dello specchio S, vi s'interpone il diaframma D munito di un foro. Notata la temperatura che si segna dallo strumento in questa disposizione, s'inclini il vase; si osserverà che in qualunque senso si esegua questo movimento, purchè non si avvicini o si allontani il centro del vase dal termoscopio; la temperatura resta stazionaria. Questo fatto non può intendersi senza ammettere che i raggi calorifici emessi obliquamente dalla superficie di un corpo variano d'intensità secondo l'angolo che fanno colla superficie da cui partono. Prova l'esposto esperimento che a misura che il vase s'inclina sull'asse dello specchio, cresce l'estensione di quella parte della superficie del vase, che è tagliata dalle linee che partono da tutti i punti formanti il contorno del foro. Ma crescendo la superficie irraggiante o il numero dei punti da cui i raggi calorifici partono, rimane costante la temperatura del termoscopio; bisogna quindi che l'intensità di questi raggi diminuisca proporzionalmente all'aumento della superficie, prodotto dalla sua inclinazione. La legge di questo decremento d'intensità dei raggi calorifici in ragione della loro obliquità, dimostata da FOURIER, gli ha servito di mezzo per calcolare la quantità di calorico diretto o riflesso che una superficie manda ad un corpo di data posizione (1).

§19. Non solo la differenza di temperatura, l'estensio-

(1) *Theorie analytique de la Chaleur*, Paris 1822.

ne, e l'inclinazione, ma anche quella della materia de' corpi, del colore, dello stato, e dell'inviluppo di loro superficie influisce sul raggiamento del calorico. Costituiscono queste circostanze ciò che chiamasi *potere emessivo de' corpi*. A provarlo prese LESLIE un cubo di latta vuoto (Tav. 10 fig. 12); e lasciando libera una delle sue facce laterali, ricoprì le altre tre, una di carta, l'altra con lastra di vetro, e la terza di uero-fumo; riempitolo poi di acqua quasi bollente, lo situò tre piedi lungi dallo specchio metallico B, nel di cui foco era la palla focale del suo termometro differenziale; e presentando successivamente allo specchio or l'una o l'altra faccia del cubo valutò il potere raggiante delle diverse superficie dall'effetto ad un tempo da esse prodotto sul termometro. Così egli provò che l'irraggiamento prodotto dalla superficie di un lucido metallo è debolissimo in paragone di quello prodotto dalle altre sostanze, come la carta, il vetro, ed il nero-fumo. MELLONI ha determinato i valori di queste facoltà emessive dei diversi corpi: chiamando 100 la facoltà emessiva del nero-fumo; si ha 100 pel carbonato di piombo; 100 per l'acqua; 98 per la carta da scrivere; 96 per la pece; 94 per la colla di pesce; 90 pel crown-glass o vetro ordinario; 88 per l'inchiostro della china; 85 pel ghiaccio; 72 per la gomma-lacca; 45 pel piombo appannato dall'azione dell'aria; 20 pel mercurio; 19 pel piombo lucido; 15 pel ferro lucido; 12 per l'oro, l'argento, il rame, e per la foglia di stagno.

820. Avendo LESLIE osservato che, raschiata una delle facce del cubo, la quantità del calorico che da questa si emette è maggiore di quella che s'irraggia dalla oppo-

sta faccia ben levigata e lucida; ne conchiuse che in pari circostanze le superficie scabre hanno un potere emessivo maggiore di quello delle superficie levigate, qual differenza talora eccede il rapporto di due ad uno. Il prelodato MELLONI ha recentemente provato che questa legge non si verifica che per i metalli, mentre per i marmi, legni, ec., l'influenza della raschiatura della superficie è nulla. L'eccezione, che presentano i metalli non è dovuta alla scabrosità, ma alle modificazioni di durezza e di densità dello strato superficiale dei corpi, prodotte dalla scalfitura dello smeriglio, della lima, del bulino, e simili (1). Una lamina infatti di metallo, la di cui superficie siasi molto battuta, acquista colla raschiatura una facoltà emessiva assai maggiore di quella che acquista un' altra lamina dello stesso metallo, ma iusa.

821. Importando ricercare se la grossezza dello strato superficiale di un corpo influisca sulla sua facoltà emessiva; RUMFORD e LESLIE immaginarono all' uopo di distendere sulla superficie de' vasi metallici degli strati sottilissimi di colla e di vernice trasparente ed incolore. Così sperimentando videro che un secondo, un terzo, un quarto strato aumentava sino ad una data grossezza la facoltà emittente. Questa influenza della grossezza dello strato superficiale sull' irraggiamento di un

(1) *De la pretendue influence que les asperités et le poli des surfaces exercent sur le pouvoir emissif des corps* — Comtes Rendus de l'Academie de Paris 1838 T. II p. 298 — *Nuove esperienze intorno alla pretesa influenza delle scabrosità sulla emissione calorifica* — Rendiconto della R. Accademia delle Scienze di Napoli, 1844 p. 409.

corpo fece dedurre da RUMFORD che le irradiazioni non partono soltanto dalla superficie, ma ancora dagli strati sottoposti sino ad una data profondità, benchè molto piccola. L' influenza però di questi strati non è illimitata ; poichè continuando a sovrapporne si giunge ad un punto, in cui le nuove inverniciature non producono ulteriore aumento; e continuando tuttavia a crescere la grossezza dello strato, l' irradiazione decresce da quel grado, a cui era giunta per l' influenza degli strati antecedenti.

822. SCHEELE fu il primo a verificare un esperimento istituito dagli Accademici del Cimento. Avendo egli fatto cadere il calorico emesso dalla stufa su di uno specchio concavo di metallo, nel di cui foco aveva posto dello zolfo, osservò di questo bentosto l' accensione senza riscaldarsi la superficie dello specchio. I celebri fisici di Ginevra PICTET e SAUSSURE (1) però con decisivi esperimenti misero fuor di dubbio la proprietà che hanno i raggi calorifici di riflettersi qualora cadono sulla superficie de' corpi. Posti a rincontro i due specchi concavi metallici A, B (Tav. 10 fig. 9) in modo da avere comune il loro asse, ed alla scambievole distanza di 12 piedi ; collocarono nel foco di B un sensibilissimo termometro, ed in quello di A una palla di ferro del diametro di 2 pollici molto riscaldata, non però sino al punto di esser rovente nel buio. Praticando tutte le precauzioni necessarie per l' esattezza dell' esperimento, videro che il termometro cominciava bentosto a salire, ed in 6' da $+ 4^{\circ}$ montava $+ 14,^{\circ} 5$; mentre un' altro

(1) *Voyages dans les Alpes* §. 976.

termometro posto in C fuori del foco dello specchio e men lontano dalla palla riscaldante aumentava appena da $+4^{\circ}$ a 6° . Rimpiazzata questa da un vase metallico pieno di acqua bollente nel foco di A, osservarono egualmente che il termometro posto in quello di B aumentava costantemente di temperatura. Ripetute quindi in varie guise tali esperimenti conchiusero che il calorico agente sul termometro posto nel foco di B non vi giunge direttamente attraverso dell'aria, perchè varierebbe prima e più intensamente la temperatura del termometro posto in C come più vicino al corpo caldo; ma solo vi giunge per la riflessione degli specchi. Dei raggi dunque calorifici uscendo dal corpo caldo cadono divergenti sullo specchio A; riflessi da questo ne sortono paralleli all'asse comune de' due specchi per fare l'angolo di riflessione eguale a quello d'incidenza. Giungendo questi raggi sullo specchio B in direzione parallela all'asse, ne sono riflessi; e riunendosi per la stessa legge nel suo foco, aumentano la temperatura del termometro che v' incontrano.

823. I raggi del calorico adunque rimbalzando prendono tal direzione, che *gli angoli d'incidenza e di riflessione sono eguali ed esistono in un medesimo piano*. Si comprova anche questa legge coll'apparato del MELLONI. Si colloca su quello descritto (Tav. 23 fig. 3) il piano circolare graduato D, nel cui centro sia normalmente fissata una lamina metallica lucente. Scorra sulla periferia di questo circolo la pila termo-elettrica P, e dalla parte opposta siavi il diaframma E avente nel centro un foro per dar passaggio al fascio de' raggi calorifici emessi dalla sorgente L, i quali incontrando

il piano di metallo vengono da questo riflessi. Girando la pila, si deduce dall'intensità della corrente che vi sviluppa il calore riflesso, che la posizione, in cui è rimbalzato è appunto quella che corrisponde alla legge suddetta.

824. La facoltà riflettente intanto non è la stessa nei diversi corpi. LESLIE il primo cercò di stabilire questa facoltà. Facendo cadere i raggi calorifici (Tav. 10 fig. 12) prima su di uno specchio di vetro e poi su di un'altro di metallo, vide che il primo ne riteneva un gran numero e pochi ne rifletteva, mentre il secondo li rifletteva quasi tutti senza assorbirne alcuno. Ungendo poi la superficie dello specchio metallico di grasso, di colla di pesce, o di altra sostanza capace di aderirvi, vide diminuirsi di tanto la riflessione di quanto cresceva l'incrostazione. Estesì questi primi esperimenti, si concluse dai Fisici che il pulimento facilita la riflessione e rende difficile l'assorbimento; e la scabrosità, l'incrostazione, e specialmente la tinta nera mentre rendono difficile la riflessione, facilitano l'assorbimento. Ma queste ultime qualità favoriscono il potere emittente (§. 819); dunque la facoltà di emettere il calorico interno e quello di assorbire l'esterno, ossia *il potere emessivo e l'assorbente segnano ne' corpi la stessa ragione*. Ma le circostanze, che favoriscono la riflessione, nuocciono all'assorbimento; quindi *il potere riflettente il calorico è nei corpi in ragion inversa del potere di assorbirlo, e di quello di emetterlo*. È poi notabile che la superficie riflettente respinge non solo i raggi che le giungono per insinuarsi nel corpo, ma anche quelli che vengono dall'interno di esso per uscirne.

825. Giungendo il calorico raggianti sulla superficie de' corpi, in parte n'è regolarmente ripercosso secondo le esposte leggi subendo la così detta *riflessione speculare*; ed in parte n'è immediatamente disperso in tutte le possibili direzioni. Avendo il MELLONI studiato il primo questo fenomeno, nuova analogia ne trasse tra la luce ed il calorico, e lo chiamò *calorico diffuso*.

826. Non solo i fluidi elastici (§. 806), ma molti corpi solidi o liquidi permettono il passaggio ai raggi calorifici. PRAVOST dimostrò il primo la trasmissibilità dell'acqua, separando il termoscopio dal corpo caldo per mezzo di una lamina sottile di acqua che facea scolare da un recipiente. Riscaldandosi così il termoscopio, questo riscaldamento non poteasi ripetere dal calorico assorbito prima dall'acqua e poi trasmesso allo strumento, giacchè quella continuamente si rinnova. Meglio poi dimostrò DELAROCHE la trasmissibilità del vetro; ma deve la scienza la conoscenza di sì interessante proprietà de' corpi ai pregevoli esperimenti del lodato Cav. MELLONI. Si serve all' uopo dell' apparato precedentemente descritto (§. 813) (Tav. 23 fig. 3): i corpi, di cui vuolsi conoscere la trasmissibilità, si collocano sul sostegno D, tra il foro del diaframma E e l'apertura *b* della pila; togliendosi il diaframma F, immantinenti l'indice del galvanometro G indica col suo moto una deviazione, la quale è diversa pei diversi corpi, supposta costante la sorgente di calore L che si adopera. Or collocandosi sul sostegno D una lamina, per esempio, di sal gemma, grossa o sottile; purchè gli altri dati restino costanti, il galvanometro indica sempre le medesime deviazioni. Se il calorico si diffondesse per

assorbimento, grande differenza vi sarebbe tra l'effetto dell'una e dell'altra lamina. Convien quindi concludere che il calorico si propaga in alcuni corpi come la luce, cioè rapidamente, in linee rette, ed indipendentemente dalla quiete o dal moto degli stessi corpi. Ha quindi chiamato *diatermaneià* questa proprietà; *diatermani* i corpi che trasmettono il calore, ed *atermani* quelli che non lo trasmettono. La diatermaneià differisce dalla trasparenza: il quarzo affumicato ed il vetro nero lasciano passare i raggi calorifici, mentre intercettano quelli della luce; al contrario una lamina alquanto grossa di allume è quasi perfettamente *atermana*, mentre è perfettamente trasparente. Il corpo più diatermano è il sal gemma. Variando la spessezza di una lamina diatermana, la quantità di calore che passa diminuisce. Finalmente il grado di diatermaneià varia anche colla sorgente calorifica. Il quarzo, e lo spato islandico trasmettono più della metà del calore inviato da una lucerna; meno del terzo, se il calore procede dal platino incandescente; e nulla affatto di quello che emana dall'acqua o dal mercurio bollente.

827. Il calore dunque che ha traversato una lamina di una data sostanza, più facilmente transita, ed in maggior copia, attraverso di un'altra simile lamina, perchè questa lo riceve già spoglio dei raggi non trasmissibili. Non altrimenti la luce, che ha traversato un vetro rosso, passa abbondevolmente per un vetro dello stesso colore, e pochissimo per un vetro verde o cilestro; perchè i raggi trasmissibili per questi vetri furono intercettati in massima parte dal vetro rosso.

828. Tutti gli esposti fenomeni della diffusione, del-

l'assorbimento, e della trasmissione del calorico, variabili secondo la natura delle sorgenti, indussero l'illustre autore ad ammettere che il calorico raggiante emanato dalle svariate sorgenti sia composto di raggi di specie diversa, misti in proporzioni variabili, come lo sono i raggi colorati che formano le diverse fiamme. I corpi diatermani che sono disegualmente traversati dai diversi raggi calorifici, corrispondono a quei corpi colorati che sono trasparenti per alcuni raggi luminosi di un certo colore, mentre ne annullano altri. Nello stesso modo s'intende come un miscuglio di diversi raggi calorifici semplificato, ridotto cioè ad un raggio di una specie sola passando per un dato corpo, possa indi essere interamente trasmesso da alcuni corpi, e da altri totalmente assorbito come un vetro rosso non assorbe la luce rossa che gli viene da un vetro simile, ma invece ritiene interamente quella che gli viene da un vetro di diverso colore. Il fatto poi, per cui in generale uno stesso mezzo sembra tanto più permeabile al calore, quanto più è alta la temperatura della sorgente da cui emana, si spiegherebbe riguardando la temperatura come una delle cagioni (e forse la principale), della diversa natura delle calorifiche irradiazioni; sicchè la intensità della temperatura crescendo, diminuisca il numero dei raggi men trasmissibili. È solo da notarsi che ninna delle radiazioni calorifiche di qualunque origine, compreso il calore solare, contiene (come può dirsi della luce bianca a riguardo dei raggi luminosi) tutte le specie de' raggi calorifici che si conoscono. Ond'è che ogni efflusso calorifico essendo essenzialmente incompleto, corrisponde ad un raggio di luce colorata, deri-

vando appunto tale coloramento dal difetto di alcuna delle molte radiazioni che formano la luce bianca (†).

829. Un' altra importante proprietà dei raggi calorifici è stata provata dal lodato MELLONI, che attraversando essi i corpi, al pari dei raggi luminosi, deviano dalla loro direzione rettilinea, ossia si *rifrangono*. Egli dispone all' uopo ad una data distanza dalla pila termoelettrica, e fuori la direzione del suo asse, una lastra di rame riscaldata dalla lampada alcoolica, o meglio ancora un recipiente ripieno di acqua bollente (Tav. 23 fig. 6). I raggi del calorico oscuro slanciati dal recipiente, non potendo giungere al corpo termoscopico per la

(†) Il chiar. Prof. MELLONI assumendo un siffatto generale risultamento qual carattere distintivo del calorico raggianti, propone di chiamarlo *termocrosi*, quasi assomigliandolo ad una colorazione invisibile, e *termocrologia* la intiera dottrina del calorico raggianti. A completare quindi giusta un tal concetto la nuova nomenclatura scientifica, chiama *diatermici* o *adiatermici* i corpi, secondochè trasmettono il calorico o lo intercettano; e coi vocaboli di *datermasia* o *adiatermasia* distingue i due citati poteri. *Mezzi termocroici* sono nel suo linguaggio i corpi che, come l'acqua, l'alcool, il vetro, non lasciano passare che certe specie di raggi; e *mezzi atermocroici* quelli che, come il sal-gemma e l'aria atmosferica, danno passaggio a tutti, e tutti gli trasmettono in egual proporzione indistintamente, assorbendoli leggermente. Riguardo poi al potere che hanno i corpi di riverberare o diffondere inegualmente i raggi incidenti, chiama semplicemente *termocroici* i corpi che non riverberano con egual forza ed assorbono parzialmente i raggi calorifici; e *leucotermici* quelli che li riverberano fortemente ed egualmente, come i metalli. Infine *melanotermici* sarebbero i corpi che gli assorbono pressochè intermente, come il nero-fumo.

sua obliqua disposizione, l'ago del galvanometro resta immobile. Si colloca quindi convenientemente nella direzione della sorgente un prisma triangolare di sal gemma col suo asse verticale, ed immediatamente si manifesta una forte deviazione nell'ago del galvanometro. Avendo ottenuto il MELLONI tai risultati col calorico della lampada, e del platino incandescente, fu autorizzato a conchiuderne, che i raggi calorifici di qualsivoglia origine sono suscettivi di rifrazione. Non contento di ciò, volle osservare il dotto sperimentatore se i raggi calorifici di diversa origine sentissero diversamente la forza deviatrice de' mezzi, se fossero cioè diversamente refrangibili. Disposto quindi l'apparato come sopra, vide che dovea successivamente cangiare l'angolo, che formava l'asse della pila colla direzione dei raggi, per avere l'effetto cercato nel moltiplicatore. Ne conchiuse quindi che i raggi calorifici emessi dalle varie sorgenti non sono tutti egualmente refrangibili.

830. È noto che presentandosi ad un raggio di luce una lente convessa di vetro, in quel punto in cui la luce è vivissima, si concentrano tutti i raggi calorifici che associati trovansi ai luminosi. Questo fenomeno è pur dovuto alla rifrazione del calore. Una lente di sal-gemma è il miglior mezzo di concentrare i raggi calorifici. Supera essa l'effetto di uno specchio concavo di metallo (§.822). Di 100 raggi calorifici che cadono su di una superficie metallica, 44 soltanto ne sono riflessi, mentre una lente di sal gemma ne trasmette e rifrange 92.

831. Le distinte proprietà riconosciute nel calorico raggiante secondo la varia sorgente da cui emana, non

alterano punto ciò che si è detto dei suoi effetti. La quantità di calorico, che dilata per esempio di 1° , è indipendente dalla sorgente da cui deriva. Quando il calorico abbandona un corpo per passare in un' altro, acquista quelle distinte proprietà. La natura diversa del corpo, la forma, e la disposizione delle sue molecole, sono altrettante cause che imprimono alle particelle calorifiche quelle speciali modificazioni da cui derivano gli speciali suoi caratteri.

832. Tutti gli esperimenti finora esposti comprovando l' esistenza del calorico raggianti, fanno considerare un corpo caldo posto nell' aria come un centro d' infiniti raggi calorifici, che attraversano l' aria liberamente, ed incontrando dei corpi ne sono riflessi o assorbiti. Trovandosi però in presenza di questo corpo un' altro egualmente o più caldo, riceverà il primo dal secondo delle emanazioni calorifiche, e gliene manderà ad un tempo, lanciandone entrambi da ogni parte. Non v' ha poi ragione per cui non debba aver luogo lo stesso effetto ad una minor temperatura; che anzi prova l' esperienza prodursi costantemente il fenomeno in qualunque temperie, e che solo essendo questa minore, è l' emissione men copiosa. Si dee quindi ammetterci, che il calorico, qualunque ne sia la quantità in un corpo, fa continui sforzi per uscirne; che questi sforzi, costituendo la così detta *tensione* sono in ragion diretta della temperatura; e che, qualunque sia questa, i corpi scagliano in ogni senso de' raggi calorifici. Attraversano questi l' aria finchè non giungano alla superficie de' corpi solidi o liquidi, che in parte li riflette ed in parte gli assorbe. Ogni corpo dunque, solido o liquido, scaglia continuamente,

assorbe, e riflette calorico raggiante. Scaglia da ogni punto della sua superficie una parte del calorico che contiene; ed assorbe e riflette una parte di quello che continuamente gli sopravviene. Tramandando i corpi de' raggi calorifici, si raffreddano; ed assorbendone si riscaldano; non può dunque la temperatura di un corpo restar costante se la quantità di calorico da esso perduta per la emissione non è compensata da quella acquistata per l'assorbimento. L'eguaglianza quindi di temperie tra molti corpi, che mandano e ricevono raggi, dipende dalla perfetta compensazione degli istantanei baratti, che han luogo tra tutti e ciascun di essi. È questo il principio dell' *equilibrio mobile* immaginato da PÆVOST che dà chiara spiegazione di tutti i fenomeni relativi alla distribuzione del calorico raggiante (1).

833. Qualunque sia dunque la temperatura di un corpo introdotto in uno spazio in cui vi sono altri corpi, la sua e la loro non rimane stazionaria, che quando si è resa per tutti eguale. Perchè questo equilibrio si produca, tutti i corpi che hanno una più bassa temperatura debbono riscaldarsi, ed il più caldo raffreddarsi. È per ciò che la temperatura di un termoscopio deve abbassarsi avvicinandolo ad un pezzo di gelo, come si abbasserebbe la temperatura del gelo, circondandosi di neve e sale, o di qualunque altro miscuglio frigorifero. Si dà così ragione di un fenomeno la prima volta osservato da PICTET e SAUSSURE. Posti i due specchi A

(1) *Recherches physico-mecaniques sur la chaleur*, Paris. 1792
Memoire sur l'equilibre du feu, nel *Journ. de Phys.* 1792.
 p. 134.

e B (Tav. 10 fig. 9) a rincontro l' uno dell' altro ed alla scambievole distanza di 12 piedi, e situato nel fuoco del primo un vase pieno di neve, ed in quello del secondo un termometro sensibilissimo, si abbassò questo notabilmente, e molto più quando alla neve si aggiunse sale. Mandando ogni corpo de' raggi calorifici ad ogni temperatura (§§. 805-832), il termometro ne mandava direttamente ed indirettamente per mezzo degli specchi sulla neve, ed in tanta maggior copia quanto più grande era la differenza tra la sua temperatura e quella della neve. Lanciando quindi de' raggi calorifici e non essendo le sue perdite compensate, si abbassava. Lungi dunque dall' esser questo abbassamento del termometro un effetto de' pretesi *raggi frigorifici* emessi dal corpo freddo, come un tempo credeasi, non è prodotto che dai raggi calorifici astretti a portarsi sulla neve.

834. Guidati i Fisici da tutti gli esposti fatti nella ricerca delle leggi con cui i corpi emettono le irradiazioni calorifiche e si raffreddano, PETIT e DULONG hanno ottenuto all' uopo i più precisi risultati, eseguendo dapprima gli sperimenti nel vuoto per osservare come i corpi si raffreddino, senza il contatto dell' aria. Avendo preso un conto particolare della celerità del raffreddamento cioè del numero de' gradi di temperatura che un corpo perde in un tempo infinitesimo e costante, i risultati delle loro esperienze sono stati i seguenti: 1.º non tutti i corpi si raffreddano colla stessa rapidità, benchè di una stessa forma, e di eguale grandezza e superficie; 2.º tutti i corpi si raffreddano nel vuoto colla stessa legge, la quale varia per altro secondochè il re-

cinto, che limita il vuoto, cresce di temperatura, o lo serba costante. Quando nel primo caso la temperatura cresce nella progressione aritmetica 0° , 20° , 40° la celerità del raffreddamento per lo stesso eccesso di temperatura, di 240° , o di 220° , o di 200° cresce in progressione geometrica, il di cui rapporto espresso da 4,0077 per ogni grado del centigrado è sempre lo stesso, qualunque sia l' eccesso di temperatura che si consideri. La celerità poi del raffreddamento per eccessi di temperatura in progressione aritmetica cresce nel secondo caso come i termini di una progressione geometrica diminuiti di un numero costante. Questa diminuzione ha luogo pel recinto, che dotato di una costante temperatura manda al corpo una quantità costante di calorico, che sottrar devesi da quella che il corpo perde colla sua irradiazione; onde questa sottrazione diminuisce la rapidità del raffreddamento.

CAPITOLO VI.

DELLA PROPAGAZIONE E DELL'EQUILIBRIO DEL CALORICO.

835. È un fenomeno pur troppo ovvio, che mettendosi un corpo caldo presso di un altro freddo, la temperatura del primo decresce e quella del secondo si aumenta. Il termometro in contatto con un corpo qualunque, solido, liquido o fluido cangia di temperatura, dilatandosi il mercurio o restringendosi secondocchè riceve o comunica calorico. E le sensazioni ci avvertono che mentre il contatto di alcuni corpi ci riscalda, quello di altri ci raffredda.

836. Comunicandosi quindi e trasfondendosi calorico col contatto, è chiaro che nei corpi oltre del raggiante havvene altra quantità che più o men presto da essi diffondesi col contatto, e che *calorico condotto o trasportato* appellasi.

837. Per formarsene un' idea suppongasi un corpo qualunque, una verga di argento, per esempio, riscaldata in un estremo. Una delle molecole esterne di questo appena ricevuto il calorico dal corpo che lo comunica, lo passa alla sua più vicina, che lo trasfonde all'altra immediatamente più prossima, e così in appresso. Può quindi dedursi secondo NEWTON che il raffreddamento successivo di ogni molecola debbasi alla sua contigua, onde la differenza del calore è proporzionale al tempo.

838. Durante l'alternativa del riscaldamento e raffreddamento delle parti interne della massa si perde del calorico sulla superficie non solo per l'immediata sua comunicazione ai corpi circostanti, ma anche per l'irraggiamento. Essendo tal perdita in ragion diretta della temperatura, la temperatura della suddetta verga può aumentarsi sino a che l'afflusso del calorico non n'eguagli la perdita. Nel caso di tale eguaglianza la temperatura della verga resta stazionaria (1). Ne risulta in conseguenza che una data causa di calorico, un fuoco, per esempio, di una data intensità, non può produrre che un dato riscaldamento per quanto tempo agisca su di un corpo.

(1) FOURIER, *Théorie analytique de la chaleur*, Paris 1822 — POISSON, *Memoire sur la distribution de la chaleur dans les corps solides* etc. nel *Journal de l'Ec. Polytechnique*, tom. 12. 1823.

839. Non tutti i corpi però sono egualmente capaci di condurre il calorico. Mettendo infatti per un estremo nel fuoco due eguali verghe, una di ferro l'altra di vetro, coll'estremo opposto coperto di un sottile strato di cera, si vedrà liquefatta quella della prima ed inalterata quella della seconda verga. La prima verga si riscalda in tutta la sua lunghezza, e tanto fortemente che non si può toccarla colla mano senza scottarsi; mentre la seconda verga si riscalda lentamente. Perciò un pezzo di carbone può tenersi impunemente in mano dalla parte poco lontana da quella in ignizione. Provando questi fatti la diversa attitudine de' corpi a condurre il calorico, sonosi essi distinti in *deferenti* o *buoni conduttori*, ed in *coibenti* o *cattivi conduttori del calorico*.

840. Essendosi cercato di determinare la varia deferenza de' corpi pel calorico, si è trovato che i metalli sono più degli altri corpi atti a riceverlo ed a rilasciarlo, onde sono ragionevolmente riguardati come i migliori conduttori dello stesso. Non tutti però posseggono questa forza deferente nello stesso grado: l'oro e l'argento sono gli ottimi, ed il piombo ed il platino i meno buoni conduttori. Le monete quindi che portiamo in sacca ci sembrano più calde degli abiti, perchè essendo di metallo facilmente trasmettono quel calorico che con pari prontezza assorbono per contatto dal nostro corpo. Ma quantunque i metalli siano i solidi che meglio conducono il calorico, pure questa condizione segue con molta lentezza attraverso la loro massa. È infatti impossibile l'elevare di un grado la temperatura di una sbarra di ferro lunga una tosa, applicandovi ad un estremo il fuoco più intenso; perchè si fonderebbe prima di ricevere l'altro estremo un grado sensibile di calore.

841. Riguardansi generalmente per buoni conduttori i corpi molto densi e le sostanze vegetabili ed animali non molto asciutte. Sono al contrario cattivi conduttori i corpi vitrei e resinosi, le pietre, i mattoni, la paglia secca, il carbone, la lana, i peli degli animali; e di queste sostanze giusta gli esperimenti di RUMFORD sono meno deferenti la lana ed il cotone grezzi che lavorati.

842. La deferenza de' liquidi è così debole che giunse RUMFORD a negarla all'acqua. Quest'opinione però è ora generalmente rigettata dopo gli esperimenti di HORE, DALTON e THOMSON; i quali provano che versandosi dolcemente sull'acqua fredda un altro liquido di essa più leggiero, ma molto riscaldato, la temperatura di varii termometri inferiormente posti ed a diversa profondità dell'acqua, si aumenta benchè lentamente (1). È innegabile però che i liquidi in generale sono poco deferenti del calorico; e sebbene possa questo diffondersi attraverso di essi passando da particella a particella come ne' solidi, pure essendo le loro molecole slegate e mobili, la diffusione del calorico ha luogo in essi più prontamente ed in modo diverso che ne' solidi. Esposta infatti una massa liquida ad una cagione riscaldante, le sue parti a questa più prossime si dilatano, e rese specificamente più leggiere s'innalzano; e rimpiazzate da altre, queste pure si riscaldano, si dilatano, si sollevano e cedono ad altre il loro posto. Stabilite così delle correnti ascendenti e discendenti, si comunica pel loro mezzo a tutta la massa la temperatura più rapidamente che non avverreb-

(1) *Giornale di Nicholson*, T. 4. — *Memorie di Manchester*, T. 5.

be pel contatto delle molecole come ne' solidi. Oltre i vari esperimenti riferiti da THOMSON in comproua di questo movimento (1), si rende esso visibile sospendendo nell'acqua de' piccoli pezzi di ambra e riscaldarne poi la massa, per seguir essi esattamente i movimenti dell'acqua. Un'altra pruova n'è la difficoltà con cui si riscalda l'acqua mescolata con estranee sostanze, opponendosi queste alla facile ascensione delle sue parti.

843. Credendo RUMFORD incapaci i fluidi di dar passaggio al calorico da particella a particella, pensa che non si riscaldino che come i liquidi, cioè pel cambiamento di posto delle loro particelle di mano in mano riscaldate e dilatate dalla vicinanza di un corpo caldo. Tra le tante pruove addotte in sostegno di questa opinione vi è un fenomeno a tutti noto, che lungo i tubi delle stufe, e generalmente lungo tutte le superficie verticali riscaldate si formano delle correnti ascendenti, che trasportano fino i corpicciuoli nel passaggio incontrati. Opponendosi però a questa opinione i Fisici, fra quali DAVY (2) e BERNOLLET (3), fanno avvertire la rapidità, con cui i termometri ad aria indicano la variazione di temperatura, e la dilatazione del gas idrogeno compreso ne' globi areostatici per l'azione del calor solare. Ciò non ostante non cessa di esser vero che tutti i fluidi sono poco deferenti, e sono quindi difficilmente attraversati dal calorico.

844. Le esposte teorie dan ragione di molti fatti, ta-

(1) *Syst. de Chim.* Tom. 2 p. 93.

(2) *Filos. Chimic.* tom. 1 div. I. numero III. §. 8.

(3) *Statica Chimica.*

luni de' quali sembrano altrimenti inesplicabili. Toccandosi due pezzi, uno di legno e l'altro di ferro, entrambi della stessa temperatura, si ha non nel primo, ma nel secondo caso una sensazione di freddo attesa la diversa conducibilità de' due corpi pel calorico; ed essendo quella del ferro maggiore dell' altra del legno, sottrae quello dalla mano più calorico di questo, e la perdita maggiore che ne fa nel contatto del ferro produce la cennata sensazione. Al contrario il ferro più caldo della mano che lo tocca, le comunica più calorico del legno egualmente caldo, conducendo quello il calorico più di questo, e produce così un più vivo calore. Per la stessa ragione una tavola di marmo ci sembra più fredda di un'altra di legno, perchè il marmo, oltre la sua particolare deferenza, essendo più denso del legno divide in più punti di contatto la temperatura del nostro corpo. S'intende quindi perchè su di un pavimento di tavole si stia più caldo che su quello di pietra; perchè le camere di legno sieno più calde di quelle costruite con pietre e calce; perchè i vasi metallici abbiano un manico di legno per potersi maneggiare; perchè gli abiti, e specialmente quelli di lana e seta, e le pelli serbino il calorico del corpo, intercettandone la dispersione meglio del canape, del lino e del cotone; perchè le parti del corpo bisognose di maggior dose di calorico siano naturalmente coperte di peli; perchè la lana ed il pelame de' mammiferi sia in ragion del clima da essi abitato; qual sia l'ufficio delle penne negli uccelli; perchè gli alberi investiti di paglia ed i semi ne' campi coperti dalla neve siano preservati dai sinistri effetti del gelo; perchè la paglia sparsa sul fondo delle ghiacciaje impedisca che

la neve sia liquefatta dal calorico terrestre ; perchè una stufa di ferro fuso sia più atta di una di majolica a riscaldare una stanza , e perchè l'aria posta tra due vetrate , od il carbone tritato messo tra due strati di calce garantiscano le stanze dal freddo. Oltre la gran capacità dei liquidi pel calorico per cui ce ne bisogna di molto per riscaldarli , conducendolo essi difficilmente da sopra in sotto , s'intende perchè le acque del mare e dei fiumi benchè esposte al pari del continente alla stessa azione del sole , pure non ne siano come questo riscaldate , onde si sperimentano relativamente sempre più fredde. Tenendosi conto della varia conducibilità de' corpi pel calorico , e delle circostanze che diversamente la modificano , come la scabrosità e la levigatezza della superficie , il colore e tutt' altro (§§. 819-824) ; si possono spiegare molti altri simili fenomeni. Può dirsi in generale che si giudicano i corpi caldi o freddi al tatto non dalla loro temperatura , ma dalla maggiore o minor quantità di calorico che si comunicano o sottraggono. Immergendosi in fatti ad un tempo una mano molto riscaldata e l'altra molto raffreddata in un vase pieno di acqua di ordinaria temperatura , questa sembrerà fredda alla prima mano che le comunica calorico e calda alla seconda che lo riceve. Perciò i luoghi sotterranei , la di cui temperatura è presso a poco costante , sembrano caldi nell'inverno e freddi nell'està , per esser noi più freddi di essi nella prima e più caldi nella seconda stagione.

845. Quando dunque sono fra loro in contatto corpi di varia temperatura , dai più caldi si perde e dai più freddi si acquista calorico , finchè tutti si mettano alla stessa temperatura. Deriva questo equilibrio da eguali

ed opposte forze o tensioni de' corpi , che sono della stessa temperatura (§. 754). Due corpi dunque hanno la stessa temperatura, perchè posti fra loro in contatto non tolgono, nè prendono l' uno dall' altro alcuna quantità di calorico, avendo questo sulla loro superficie una forza o tensione eguale e contraria ; e da questa eguaglianza ed opposizione di forze risulta appunto l' equilibrio. Onde , variando ne' corpi eterogenei la loro capacità pel calorico secondo la loro diversa materia ed il loro diverso stato di aggregazione l' equilibrio della loro temperatura non deve far supporre in essi un' eguale quantità di calorico (§. 792), ma solo un' egual tensione calorifica. Inoltre non essendo eguale la conducibilità de' corpi , il tempo richiesto pel raffreddamento o riscaldamento e per l' equilibrio di temperatura non è lo stesso per ciascun di essi. Variando quindi ne' corpi la capacità di assorbire e trasmettere il calorico, sia per la loro materia, sia per le circostanze che modificano quella ; ne segue che in tempi ineguali debbono mettersi in equilibrio di temperatura.

846. Si può ora intendere come agisca il termometro e valutarne il pregio. Comunicando questo istrumento coi corpi, dà a questi calorico e ne riceve , finchè non si metta con essi alla stessa temperatura. Dando l' istrumento calorico, la colonna termometrica si abbassa , e ricevendone si eleva ; e non resta stazionaria che quando si è messa in equilibrio di temperatura. Il termometro quindi indica quella dei corpi, ma dopo di aver loro tolto o ceduto calorico, e non quella che essi avevano prima di essere con il medesimo in contatto. È sì tenue intanto la quantità di calorico che il termometro comu-

nica o toglie ai corpi, che si può senza errore trascurarla, ond' esso è un indice della temperatura de' corpi anteriore al loro contatto con esso. Per ciò i termometri si costruiscono piccoli e si vogliono sensibili.

847. A rendere però costante la temperatura dei corpi non basta che il calorico si metta tra essi in equilibrio col mutuo loro contatto, mandando tutti di continuo e ricevendo raggi calorifici. Un corpo più caldo degli altri ne lancia più di quelli che ne riceve, ed uno più freddo ne riceve più di quelli che ne tramanda, finchè si stabilisca tra essi l'equilibrio. E benchè questo stabilimento abbia avuto luogo, pare la temperatura non può serbarsi costante che per continui ed istantanei baratti di calorico raggiante (§. 832), i quali non possono essere che relativi alla varia conducibilità de' corpi ed a tutte le circostanze che modificano il potere irraggiante (§. 849). È chiaro quindi che il calorico raggiante stabilisce e conserva ne' corpi l'uniformità di temperatura.

848. Ciò non ostante la mediocre estensione di un corpo, od una non molto notevole distanza di diversi corpi può far variare la temperatura o tra di essi o tra le parti di uno stesso corpo. Questa mancanza di equilibrio deriva dal modo con cui il calorico si propaga. Bior scavò all' uopo in una verga di ferro 7 piedi lunga e 10 pollici e mezzo grossa varie piccole fossette ad eguali distanze fra esse; ed avendole ripiene di mercurio, e messo in ognuna di esse un sensibile termometro, osservò che mantenendo per più ore un estremo della verga ad un costante grado di fuoco, la sua temperatura non si alterava che a piccole distanze dalla sor-

gente calorifica ; che i termometri restavano dopo qualche tempo stazionarii ; e che prendendo le distanze in progressione aritmetica, gli eccessi di temperatura de' corrispondenti punti della verga su quelli dell'ambiente decrescevano in geometrica progressione.

849. Scopre questo esperimento la falsità della legge di NEWTON, che stabilisce, che un corpo caldo esposto all' azione di una costante causa di raffreddamento, come per esempio ad una uniforme corrente di aria , perda in ogni istante una quantità di calorico proporzionale all' eccesso della sua temperatura su quella dell' ambiente (4). Poichè se così fosse, tutti i punti successivi della verga dovrebbero in ogni istante aumentare di calore in una quantità eguale alla differenza fra l'aumento, che ricevono dai punti antecedenti, ed il decremento che soffrono dai punti conseguenti. Ma questa esatta proporzionalità è non solo dall' esperienza smentita, ma la trasmissione del calorico non giunge che sino ad una certa distanza dalla sorgente, nella quale decrescendo la temperatura si ferma e resta stazionaria; perchè il calorico a misura che successivamente trasmettessi s' irraggia, ed in tanta maggior copia per quanto è più elevata la temperatura. Se dunque per questa irradiazione si perde calorico, quando questa successiva perdita eguaglia l'accumulamento che dovrebbe produrre l'aumento di temperatura in ogni punto ; per l'eguaglianza di questi guadagni e di queste perdite la temperatura serbasi stazionaria. Un corpo dunque alquanto esteso può avere in varii suoi punti diverse temperature.

(1) *Scala graduum calor. et frig.* Opus. T. 2.

850. Alla propagazione del calorico ne' corpi corrisponde il loro raffreddamento. Mancando i Fisici all' uopo di idee precise per difetto di sperimenti, seguirono dapprima i pensieri di NEWTON. Ma dimostrati questi inesatti da PETIT e DULONG, e non verificabili che in rarissimi casi (1), si è giunto per mezzo di precise esperienze a positivi risultati, tenendosi stretto conto delle due cause di raffreddamento, della perdita cioè del calorico raggiante, e di quella del calorico condotto. Ricercate le leggi del raffreddamento de' corpi nel vuoto, si è passato ad esaminar quello che avviene nell' aria od in altro fluido aeriforme. Ripetendosi il primo dall' irraggiamento del calorico, si è attribuito il secondo all' irraggiamento ed all' assorbimento del calorico fatto dal fluido; poichè mentre pel mutuo contatto il corpo caldo cede parte del suo calorico all' aria che in conseguenza si riscalda, un' altra notabile quantità di raggi calorifici da esso emessi attraversa l' aria senza riscaldarla. Determinata la celerità del raffreddamento nel vuoto (§. 834), con delicati sperimenti si è giunto a conoscere: 1.° che il raffreddamento che l' aria od un gas qualunque di per se stesso produce, prescindendo dall' irraggiamento, è affatto indipendente dalla natura e dallo stato della superficie dei corpi; 2.° che il raffreddamento nell' aria, od in altro gas, avviene tanto più prontamente quanto maggiore è la differenza di temperatura tra il corpo da raffreddarsi e l' atmosfera che lo circonda; ma che le velocità con cui i corpi si raffreddano

(1) *Recherches sur la mesure des temper.* etc. *Ann. de Chim. et de Phys.* T. 7.

dano non sono, come opinò NEWTON, in ragion diretta delle differenze delle temperature; accostandosi le velocità a questo rapporto a misura che tali differenze diminuiscono; mentre nelle temperature superiori a quella dell'acqua bollente, come dimostrò LAROCHE, segue il raffreddamento una più rapida progressione; 3.^o e che il potere raffreddante di un gas varia nella sua temperatura in modo che se questo gas può dilatarsi, serbando però sempre la sua forma elastica; il potere di raffreddare si troverà tanto diminuito dalla rarefazione del gas quanto è aumentato dal riscaldamento, talchè non dipende che dalla sua tensione. Ben quindi s' intende che la legge del raffreddamento costa di più leggi parziali che la rendono oltremodo complicata, e che perciò non potea dai due lodati autori esprimersi che con una formola matematica.

854. Vuolsi in fine avvertire che non oppone il vuoto alcun ostacolo alla diffusione del calorico raggiante o condotto; poichè se diversi corpi sono separati da uno spazio vuoto, si equilibrano in temperatura, come se fossero nell'aria, come indicano i termometri con cui essi corpi sono in contatto. Comprovando questa legge DESORMES e CLEMENT con decisivi esperimenti, hanno dimostrato, che nel vuoto si equilibra il calorico come nei corpi, e vi produce una temperatura proporzionale alla sua quantità. Giovandosi essi di questo principio per determinare lo zero di temperatura, per calcolare cioè l' assoluta quantità di calorico che sottratta da un corpo a data temperatura ne lo lascerebbe affatto privo; hanno stabilito che lo zero assoluto di temperatura è a 266,° 66 C. sotto la fusione del ghiaccio (1).

(1) *Determination expérimentale du zero absolu de la cha-*

CAPITOLO VII.

SORGENTI DEL CALORICO.

852. Qualora si rifletta che la temperatura del nostro globo segue esattamente le fasi del sole, si aumenta, cioè, in ragione del tempo della sua permanenza sul nostro orizzonte, e della direzione perpendicolare dei suoi raggi; non si può non riconoscere in esso la principale sorgente calorifica. Senza l'incessante azione di quest'astro ravvivante, la terra sarebbe agghiacciata. È noto infatti lo stato di languore, per non dir di morte, in cui giacciono le regioni polari, ove il sole manca per mesi interi sull'orizzonte. L'azione diretta dei suoi raggi può giungere nei più caldi giorni ed in taluni luoghi a 49° circa. Mentre i raggi solari sono poco efficaci per i corpi trasparenti, riscaldano i corpi opachi; e questo riscaldamento è in ragion diretta dell'intensità del loro colore. L'esperimento di una massa di neve coperta di un panno tinto a lunghe strisce di varii colori, che esposta ai raggi del sole si fonde in diverse quantità sotto tali strisce è pur troppo ovvio pei Fisici.

853. La combustione ed ogni altra specie di chimica composizione e decomposizione dee anche riguardarsi come sorgente di calorico. Niuno ignora, che i corpi bruciando emettono calorico, e che noi abbisognando-

leur et du calorique specifque des gas, dans le Journal de Physique tom. 89.

ne ci esponiamo al fuoco ; e che mescolando una parte di acqua con quattro di acido solforico , o stemprando nell' acqua la calce viva , si eleva la temperatura del composto. Si è per lungo tempo creduto non prodursi il calorico da tali cagioni , che pel cangiamento di stato degli elementi costituenti, e rapporto della capacità de' componenti pel calorico con quella del composto; ma confessar conviene che il cangiamento di stato e le variazioni di capacità spiegar non possono completamente questi fatti. Recentemente il Prof. Hess ha presentato all' Accademia di Pietroburgo un suo lavoro sul calorico che si sprigiona nelle mescolanze e nelle chimiche combinazioni. Egli invece di risalire alla causa , ha considerato soltanto il fatto ; ed ha cercato di conoscere se questa quantità di calorico varii secondo una legge qualunque quando varia la proporzione degli elementi che entrano nella combinazione. Ha quindi dedotto dalle sue sperienze, che 1.° quando due sostanze si combinano in diverse proporzioni , le quantità di calorico sprigionate da ciascuna di queste combinazioni sono fra loro in proporzioni multiple; 2°. e che la quantità di calorico , che si sprigiona in una combinazione è sempre costante, sia che la combinazione istessa si operi direttamente, sia che succeda indirettamente. Egli in ultimo rileva un altro fenomeno che chiama *neutralità termica* : se si prendono due soluzioni saline neutre di eguale temperatura , le quali per la loro reciproca decomposizione diano due nuovi sali , in questo caso la temperatura istessa non cambia.

854. Tutte le sostanze gassose compresse sviluppano calorico. Comprimensi l' aria nell' *accendifuoco*

pneumatico, emette essa tanto calorico da accender l'escia attaccata all'estremo dello stantuffo. Al contrario espandendosi i gas, assorbono calorico ed abbassano la temperatura de' corpi circostanti. Per assicurarsene non si deve che introdurre un termometro in una campana, da cui con una siringa si possa estrarre l'aria; al primo colpo dello stantuffo la colonna termometrica discende, anzi si può farla discendere per 8.° o 10.° al di sotto della temperatura dell'ambiente. Deriva questo assorbimento e sviluppo di calorico dal cambiamento di capacità che soffrono i gas quando se ne altera la densità. E supponendo che segua la compressione o l'espansione in un vase impenetrabile al calorico, è giunto POISSON a stabilire la formola espressamente le variazioni di temperatura corrispondenti a quelle di volume.

855. Un'altra sorgente di calore è l'azione che si sveglia tra i corpi solidi ed i gassosi in certe circostanze. DOEBEREINER molto tempo dopo gli esperimenti di FONTANA sul carbone, ha scoperto un caso assai importante di questo assorbimento dei gas dai corpi solidi ridotti in uno stato di grande divisione e porosità. Il platino, la spugna di platino, l'iridio, il carbone ec. assorbono i corpi gassosi senza combinarvisi con una grande attività; ed essendo ogni cambiamento di stato sempre accompagnato da sviluppo di calorico (§. 790), per questa condensazione emettono essi una enorme quantità di calorico; in tal copia, cioè, che il platino spugnoso si arroventa, e divien capace di accendere i corpi combustibili. Questa interessante scoperta si è utilmente applicata alla costruzione dell'accendilume

a gas idrogeno. Un getto di questo gas preparato nel modo consueto si spinge quando lo si richiede, contro la spugna di platino, la quale arroventandosi mette in ignizione il getto gassoso. Anche il carbone ridotto in finissima polvere assorbe il gas ossigene dell'aria in tanta quantità da sviluppare calore, e mettersi in combustione. Non è raro questo funesto accidente nelle polveriere, in cui il carbone è ridotto allo stato di polvere finissima. Da questa cagione debbesi ripetere la combustione rapidissima, e senza aggiunta di calore, che si osserva in molti metalli ridotti ad un grande stato di divisione.

856. La percossa anche sviluppa calorico. Si riscalda un metallo percuotendolo sull'incudine, o comprimendolo col pressojo. In tal caso però lo sviluppo di calorico dev'essere accompagnato da una permanente riduzione di volume; poichè se il corpo in un istante dopo ricalcato su di se stesso ritornasse alle sue primitive dimensioni, non vi sarebbe più ragione per la produzione del calore. BERTHOULLET, BIOT e PICTET hanno osservato, che il rame e l'argento che molto calorico sviluppano per la compressione del conio, ne sviluppano la maggior quantità al primo colpo, una minore al secondo, ed un'altra anche più piccola al terzo; e quando infine sono compressi in modo che le loro molecole non possono più ravvicinarsi in un modo permanente, il colpo più violento non cagiona in essi ulteriori sviluppo di calorico. In questo grado di condensazione sono essi analoghi ai liquidi; benchè capaci ancora di essere compressi, pure si ripristinano immantinenti, onde la quantità di calorico che sviluppano per l'istau-

tanea compressione eguaglia quella che assorbono per l'espansione che la segue.

857. I metalli , i legni , e tutti i solidi stropicciati sviluppano calorico. Una ruota prende fuoco celere-mente girando sul suo asse ; i perni delle ruote delle macchine a rotaggio si riscaldano in modo da accender-
si ; due pezzi di legno fortemente stropicciati l'uno sull'altro si accendono ; e stropicciando DAVY scam-
bievolmente due pezzi di gelo , la di cui temperatura era inferiore allo zero termometrico, svilupparono essi tanto calorico che giunsero a fondersi. Si è quindi ri-
cercato , se il calorico sviluppato per lo stropicciamento debbasi ad una permanente compressione delle parti de' corpi stropicciati , o ad un moto di vibrazione in esse eccitato. Benchè taluni Fisici siano incerti nel deci-
dere tale quistione, pure ci obbliga l'esperienza a con-
venire col Conte di RUMFORD , attribuendo questo calo-
rico se non in tutto, almeno in gran parte al moto vi-
bratorio delle parti stropicciate. Tra i fatti che com-
provano questa opinione sono notabili i seguenti. Per-
cuotendo colla pietra focaja un pezzo di acciaio, si di-
staccano da questo delle piccole schieggie, talmente ri-
scaldate dal calorico sviluppato, che si arroventano , e
cadono in globetti dalla fusione arrotondati ed in parte
bruciati. Limandosi una lega composta di una parte di
ferro e due di antimonio, ne sortono scintille di fuoco;
onde il calorico che si sviluppa per lo stropicciamento
della lima è tale, che porta la limaglia alla temperatura
della combustione.

858. Ogni cangiamento di stato de' corpi produca
assorbimento o sviluppo di calorico (§. 790). Una
libbra di gas acqueo a 100° C. attraversando cinque

libbre e mezzo di acqua a 0°, forma 6 $\frac{1}{2}$ libbre di acqua a 100°. Si profitta ora del calorico che si sprigiona dalla liquefazione de' vapori acquosi, pel riscaldamento dell' acqua de' bagni; e si riscaldano a questo modo in Inghilterra i vestiboli e le sale delle case.

859. Una serie di accurati esperimenti eseguiti da POUILLET nel 1822 prova che tutti i corpi sviluppano calorico quando sono bagnati da un liquido. I liquidi all' uopo impiegati furono l'acqua, l'olio, l'aleoole e l'etere acetico; mentre i solidi da lui polverizzati per rendere l'effetto più sensibile appartenevano al regno inorganico ed all'organico. Niuno di questi fece eccezione alla legge, tutti cioè svilupparono calorico nell'essere bagnati dai liquidi. Il più spesso l'elevazione di temperatura fu di $\frac{1}{4}$, o di un $\frac{1}{2}$ di grado, ma giunse talora sino a 40°. Non potendo ripetersi da alcuna delle chimiche azioni, l'azione molecolare, che le particelle del liquido esercitano su quelle del solido; provano questi fatti ad evidenza che le vibrazioni molecolari sono la vera causa dello sviluppo del calorico.

860. A completare l'enumerazione delle sorgenti di questo fluido non ci resta ad esaminare a suo luogo che quello prodotto dall'elettricità.

CAPITOLO VIII.

DEL CALORE ANIMALE.

861. Se il calorico di tutt' i corpi bruti tende continuamente all' equilibrio, e per i continui baratti che ne fanno sono costantemente in equilibrio di temperatura; l'uomo e tutti gli animali a sangue caldo hanno una tem

peratura superiore a quella dell' ambiente, in cui vivono, e mentre questo per le sue continue variazioni ora li riscalda ed ora li raffredda, serban quelli quasi costante la loro temperie sotto il clima agghiacciato delle regioni polari e nell' atmosfera ardente della zona torrida, nel più rigido inverno e nella più calda està. Or costando per esperienza di aver ogni animale, indipendentemente dall' atmosfera, una propria temperatura detta *calore animale*, deve avere il mezzo di produrlo a seconda de' bisogni; dovendo la materia ponderabile, di cui è formato, esser soggetta alle leggi generali dell' equilibrio di temperatura. Resta quindi ad esaminarsi 1.° la temperatura degli animali; 2.° la quantità di calorico che in un dato tempo possono produrre; 3.° la sua causa; 4.° ed i mezzi di serbar equabile la loro temperatura.

862. L'interna temperatura del corpo umano sembra la stessa ne' diversi suoi organi. Quella dell'uomo sano varia tra i 36°,5 ed i 37°; ed innalzandosi la temperatura dell' aria ambiente ad un grado straordinario, per esempio da 28° a 32°, quella del cennato individuo può giungere fino a 39°, ma sente in tal caso un interno e generale incommodo, un senso di debolezza ed una grande propensione al riposo. Secondo gli sperimenti di DAVY è questo risultato identico tanto per gli abitanti de' climi caldi, quanto per quelli de' climi freddi, talchè l' interna temperatura del corpo è per entrambi la stessa. Sembra che l'età non produca all'uopo alcuna notabile differenza, meno che pei neonati, che hanno una più bassa temperatura. Mostra la seguente tabella i risultati delle preziose osservazioni di DESPRETZ sull' interna temperatura delle diverse specie di animali.

Temperatura media.

Nove uomini in età di 30 anni	37, 14
Quattro uomini in età di 66 anni (*)	37, 13
Quattro giovani in età di 18 anni	36, 99
Tre bambini fra 1 e 2 giorni	35, 06
Due corvi adulti	42, 91
Quattro gufi robusti nel volo	40, 91
Civetta adulta	41, 47
Terzuolo adulto	41, 47
Tre piccioni	42, 98
Tre passerotti vivaci	39, 08
Passerotto adulto	41, 96
Anto adulto	41, 88
Due cornacchie che cominciano a mangiare da se .	41, 17
Cane di tre mesi	39, 48
Gatto maschio adulto	39, 78
Porco indiano adulto	35, 76
Due carpi	11, 69
Due tinche	11, 54
Acqua nella quale vivono questi pesci	10, 83

(*) L'autore ha trovato una temperatura quasi uguale in uomini vecchi più di 90 anni.

863. Secondo questa tavola 1.^o la temperatura degli uccelli è maggiore di quella dell'uomo e dei mammiferi; 2.^o la più bassa temperatura de' mammiferi è quella dell'uomo; 3.^o la temperatura degli adulti è più alta di quella de' giovani, e lo stesso è per gli animali adulti riguardo ai giovani; 4.^o e la temperatura de' pesci è più alta di quella dell'acqua in cui vivono. Analoghi esperimenti poi istituiti da DAVY sulle lepri e tigri, sui cavalli e molte altre specie di animali, provano, 1.^o che fra i mammiferi la temperatura del corpo è più alta, essendo di 40°; 5; 2.^o che gli uomini di diverse specie hanno quasi la stessa temperatura; 3.^o che quella dell'uomo cresce alquanto passando da un paese freddo, od anche temperato, in un caldo; 4.^o che la temperatura degl'insetti supera di poco quella dell'aria in cui vivono. Da queste due serie di esperimenti s'inferisce che la temperatura degli uccelli è la più alta di quella delle altre specie di animali; che viene in secondo luogo quella de' mammiferi; che indi viene quella degli anfibi, de' pesci, e di alcune specie d'insetti; che giunge in fine l'altra dei molluschi, o de' crostacei, sensibilmente eguale a quella del mezzo in cui vivono; e che lo stesso può dirsi de' vermi assoggettati finora agli esperimenti.

864. Ricercata la causa del calore animale sin dall'origine della Fisiologia sperimentale, le indagini all'uopo praticate senza l'aiuto delle scienze fisiche risultarono infruttuose. Scoperto appena che la più violenta confricazione de' liquidi contro i solidi, specialmente flessibili, non produce alcun calore; l'antica opinione di derivare il calore animale dal moto del sangue fu bento-

sto abbandonata; ed i memorabili esperimenti di LAVOISIER sulla combustione comprender fecero come agisca la respirazione per lo sviluppo di questa specie di calore. Essendosi questo illustre sperimentatore sforzato di determinare coi dotti fisici LA PLACE e SEGUIN la quantità di calorico che si svolge nella conversione di un dato peso di carbone in acido carbonico, questi opinarono che, se l'aria è assolutamente necessaria per la conservazione della vita degli animali, se un animale non può respirare che per un tempo limitato una stessa quantità di aria, e se la sua temperatura è tanto più alta quanto più la sua respirazione è attiva, il calore animale deriva dalla fissazione dell'ossigeno dell'aria pura ispirata, che riduce in acido carbonico ed in acqua una certa quantità di carbonio e di idrogeno del sangue venoso, prodotti che rinvengonsi nell'aria espirata. Fu quindi d'allora la respirazione giustamente riguardata come una specie di combustione, come causa del cangiamento del sangue venoso in rosso vermiglio arterioso, e come principal sorgente del calore animale.

865. Avendo GALLOIS provato con decisivi esperimenti che gli animali nel respirare un'aria molto rarefatta naturalmente si raffreddano, ha concluso che il freddo, che provasi su gli alti monti, sembra in gran parte dovuto alla diminuzione della massa di aria, che ivi s'introducee ne' polmoni ad ogni respirazione (1). Il calore animale dell'uomo è maggiore nell'inverno che nelle altre stagioni (benchè esso abbia in tutte una temperie sensibilmente eguale ad onta della maggior per-

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.* tom. 4 pag. 112.

data di calorico nell' inverno pel maggior freddo atmosferico), poichè essendo maggiore in tale stagione la densità dell'aria maggior quantità di questa s' immette ne' polmoni in ogni respirazione. Avvenendo l'opposto nell'està, chiara si osserva la corrispondenza del calore animale coi bisogni calorifici per l'ambiente atmosferico. Per la stessa ragione gli animali assiderati, giusta l'esperimento di FLOURENS, comunicato all'Accademia delle Scienze di Parigi al 15 giugno 1829, hanno quando respirano una temperatura di circa 38° C.; e quando sorpresi da perfetto letargo non respirano hanno quella di circa 4° C. (1).

866. CRAWFORD ripeté lo sviluppo e la distribuzione del calorico nel corpo dalla superiorità del calorico specifico del sangue arterioso su quello del sangue venoso; onde quando nella respirazione, consumata parte dell'ossigeno, svolgesi del calorico, serve questo a mantenere la temperatura del sangue arterioso, e diviene poi libero in tutte le parti quando il sangue arterioso si converte in venoso. Ma GIOVANNI DAVY ha provato che se esiste questa differenza nel calorico specifico, dev'essere tanto piccola da non potersene tener conto.

867. Può intanto alle teorie immaginate per render ragione del calore animale colla formazione dell'acido carbonico e dell'acqua nei polmoni, opporsi con fondamento che la temperatura di questi non è sensibilmente maggiore di quella delle altre parti interne del corpo. Questa grave obiezione ha fatto prevalere l'opinione che il gas ossigeno lungi dal decomorsi ne' polmoni vi

(1) *Bibl. Ital.* tom. 55. pag. 214.

si riduca solo nello stato liquido, nel quale stato assorbito dal sangue gli comunichi il color vermiglio; e decomponendosi affatto nel corso della circolazione formi l'acido carbonico e l'acqua, che resi poi fluidi si esalano coll'aria espirata; e così si comunichi quasi uniformemente il calore al sangue in tutto il corpo.

868. Avendo BRODIE riconosciuto possibile il mantenimento della respirazione e della circolazione in un animale decapitato (1), si avvide che quantunque proseguisse ne' polmoni il cangiamento del sangue venoso in arterioso, e dell'ossigeno dell'aria in acido carbonico, pure non svolgeasi affatto calorico (2); onde conchiuse non essere la respirazione l'immediata causa del calore animale, e di doversi questo ripetere com'ogni altro fenomeno vitale dal concorso del sistema nervoso. Inoltrate queste ricerche da CROSSAT, provò egli all'Accademia delle Scienze di Parigi nel 15 Maggio 1820, che le mortali lesioni del cervello, mentre ancora la circolazione e la respirazione si eseguono, accompagnate sono da un raffreddamento proporzionale a quello che prova un animale decapitato, in cui siasi ad arte mantenuta la respirazione; che questo raffreddamento è un effetto della sezione o dell'offesa de' nervi dell'ottavo paio o paio vago; e che l'animale raffreddasi tanto più presto quanto più presso al cervello tagliasi la midolla spinale, ed al contrario; d'onde inferì che lo sviluppo

(1) *Croonian lectures*, 1811.

(2) L'insigne Professore CONFIGLIACCHI ha inventato e descritto nel tom. 9 del *Giorn. di Fis.* ec. di BRUGNATELLI un manticcetto molto atto a procurare la respirazione artificiale.

del calore animale è immediatamente cagionato dal sistema nervoso, e specialmente dall'ottavo paio dei nervi; e costituisce una delle funzioni di questo sistema(1). EVERARDO HOME però crede doversi l'influenza del sistema nervoso sul calore animale ai gangli, avendo osservato un calore superiore a quello dell'ambiente negli animali a gangli nervosi e non in quelli che ne mancano (2).

869. Ora quindi s'intende, perchè gli animali messi in forzate situazioni, attaccati pel dorso senza soffrire alcuna lesione, non potendo serbare la propria temperatura, man mano si raffreddino; e perchè talora diverse parti del corpo dello stesso individuo non abbiano lo stesso grado di calore; perchè una parte paralizzata sia spessissimo più fredda delle parti sane; e perchè la temperatura più elevata sia quella della parte infiammata.

870. Il numero però de' globetti del sangue, la rapidità della sua circolazione, la frequenza della respirazione, sembrano essere in rapporto colla temperatura degli animali. Negli uccelli, i globetti del di cui sangue sono più numerosi, è la temperatura più elevata e la respirazione più attiva. Tengon loro dietro i mammiferi, tra'l numero de' globetti sanguigni de' quali a quello de' pesci e de' rettili, la cui temperatura è eguale a quella dell'ambiente in cui vivono, la differenza è quasi nulla. Son questi i risultati degli esperimenti all'uopo istituiti da DUMAS e PÆVOST.

(1) *Journ. de Phys.* tom. 91.

(2) *Bibl. Univ.* tom. 15 p. 48. *Quarterly Journ. of sci. lit. and arts* edited at R. Inst. of G. Brit n. 40. p. 335.

871. Attese queste ricerche DULONG dimostrò che messo per base di calcolo sul calore animale il risultato ottenuto da LAVOISIER e LA PLACE riguardo a quello che si svolge nella combustione del carbone, ed ammettendo che una eguale quantità di gas acido carbonico prodotto dalla respirazione svolga la stessa quantità di calorico, corrisponde questa negli erbivori a $\frac{1}{10}$ e ne' carnivori ad $\frac{1}{2}$ circa di quella che perde l'animale nel tempo istesso per l'influenza del mezzo ambiente. E supponendo che una parte dell'ossigeno producea l'acqua combinandosi coll'idrogeno del sangue venoso, mostrò che il calorico sprigionato da questa combinazione aggiunto a quello prodotto dalla formazione dell'acido carbonico, non corrisponde a più di 0,75, o di 0,80 del calorico che gli animali erbivori o carnivori perdono nello stesso tempo. Quindi ammise oltre le cennate ossidazioni un'altra sorgente del calore animale.

872. Allo stesso risultato è giunto DESPRETZ, dopo d'aver determinato preventivamente con particolari sperimenti la quantità di calorico, che si svolge nella combustione di un certo dato peso di carbonio ed idrogeno. Per paragonar poi il calorico animale con quello sviluppato nella respirazione ha egli istituito sui mammiferi, erbivori e carnivori, e sugli uccelli, sedici esperimenti nel seguente modo. Messo l'animale in una cassetta di rame grande in modo da potervi dimorare comodamente, si chiude questa ermeticamente e si situa in mezzo di un'altra cassa più grande e ripiena di una nota quantità di acqua pura. Bacchette di vinco allontanano l'animale dal rame per non ricieverne il calorico, ed un gassometro gli somministra l'aria neces-

varia alla sua respirazione, i di cui prodotti emessi alla temperatura dell'acqua si raccolgono nel bagno a mercurio per essere analizzati. Dura l'esperimento circa due ore; e dalla elevazione di temperatura dell'acqua si giudica della quantità di calorico somministrato dall'animale. Da esperimenti in tal modo eseguiti l'autore ha inferito che nei carnivori paragonati agli erbivori il calorico che si perde è molto maggiore di quello che si può ammettere rimpiazzato dall'ossidazione, che nella respirazione avviene; e che la massima quantità di calorico che può supporre prodotta dalla respirazione non è mai minore di 0,7, nè maggiore di 0,9; onde ha concluso non esser la respirazione la sola causa del calorico animale, ma di supplirsi forse dall'assimilazione, dal moto, e dall'attrito delle diverse parti a quanto manca di quello dalla respirazione prodotto.

873. Mal dunque non si avvisa BERZELIUS osservando che » la respirazione in tal caso non vi partecipa » che come le altre funzioni del corpo, cioè preparando » le condizioni senza le quali lo sviluppo del calore non » potrebbe avvenire; ma che non sembra esservi un im- » mediato sviluppo di calore prodotto da una mutazio- » ne dell'aria ne' polmoni. »

874. Ciò posto; sembra che l'opinione di BRODIE, confermata da CHROSSAT, che lo sviluppo cioè del calorico animale, debbasi come tutti i fenomeni vitali all'influenza del sistema nervoso, sia quella che meglio s'accorda coi risultati sperimentali. E se questo sistema agisce eccitando in un modo particolare le opposte elettricità, ne segue che lo sviluppo del calorico dipende dall'equilibrio delle medesime ovunque si trovano ner-

vi. DE LA RIVE fu il primo a così opinare. Uopo è intanto confessare che ad onta degli sforzi di tanti valentuomini l'origine del calore animale è tuttora involta nelle tenebre dell'incertezza al pari di ogni altro fenomeno vitale (1).

(1) Il benemerito Prof. SEMMOLA in una sua pregiata memoria, *Dell'origine del calore nei viventi*, letta nell'Accademia Pontaniana, ed inserita nel Giornale *Il Progresso* (N. 2 ultima serie) ha dimostrato il calore nei viventi e segnatamente nell'uomo non poter dipendere immediatamente dalla combustione del carbonio con l'ossigeno atmosferico per l'atto respiratorio, e rigetta tal teoria chimica fondata da LAVOISIER, e sostenuta da DUMAS e LIESIG. In prima egli considera esserne imperfette le pruove. In secondo che sonovi aggiunte molte ipotesi alle sperienze. Indi arreca numerosi e manifesti fatti che dimostrano la compiuta indipendenza del calore animale dalla respirazione considerata come processo chimico. Dimostra parimenti con molti fatti essere il calore indipendente dalla circolazione e dall'azione dei parenchimi. In quinto luogo dichiara con argomento di fatto che il calore viene da potenze operanti in tutt'altro luogo e modo che quelle per attivare la combustione del carbonio. Da ultimo apporta i fatti dimostrativi della genesi del calore per opera delle innervazioni incitate da varie cagioni e precipuamente dal sangue arterioso. Egli inoltre chiarisce i fatti apparentemente contrarii e che invece son favorevoli all'esposta dottrina. Ancor egli conviene che il calore si aumenta nella scala dei viventi a misura che l'apparato respiratorio s'ingrandisce, che l'ematosi e la circolazione si rendono più attive; ma poi dimostra che queste sono le condizioni opportune per tenere eccitato il sistema nervoso in modo da poter essere l'organo immediato della termogenesi. Così la sede onde si svolge il calore non sarebbe l'organo respiratorio ed il sangue, ma i nervi; e quel magistero essere non già un lavoro chimico ma fisico, e tale che ai consueti fenomeni elettrici molto si assomiglia. Questa teorica del SEM-

875. Questa specie di calorico però oltre di prodursi e rendersi libero dev'essere sempre della stessa quantità e la sua sorgente dee incessantemente produrne delle quantità eguali alle perdite che si fanno dal corpo vivente. A serbare equabile la temperatura negli animali non poco influisce la traspirazione polmonale e cutanea. Aumentandosi la temperatura dell'ambiente l'aria ispirata, che diviene men densa, somministra all'animale minor calorico (§. 865), e segue il contrario se la temperatura dell'ambiente diminuisce; ond'è che per tali

MOLA è appoggiata da tutt'i fatti e le sperienze meglio comprovati. Essa è seguita da illustri contemporanei, ed il **BENZELIUS** è del medesimo avviso. Il Prof. **ZANTEDESCHI** nel suo classico *Trattato del Calorico e della Luce* (Venezia 1846 Parte I. pag. 335) avverte che la teorica del professore napoletano meglio di ogni altra si accorda coll'ipotesi che or prevale nella mente dei Fisici sulla natura del calore. » Im- » perocchè messo che dipenda dalle vibrazioni molecolari, » le oscillazioni ed i tremiti di porzioni diverse del sistema » nervoso darebbero origine a quelle sì frequenti alterazioni » di calore animale or generale, or locale, or fisse, or va- » ganti, variabili ed istantanee, che non è possibile riferire » senza molte ipotesi ad una centrale, lenta, uniforme e » chimica emanazione di calore. Dopo tutto questo, parmi » dover concludere coll'egregio sig. prof. **SEMMOLA**, non » essere la sede della termogenesi ristretta all'organo respi- » rante; ma risiedere precipuamente ne' nervi, e che si svi- » luppi per un processo analogo a quello, che determina l'o- » rigine de' fenomeni elettrici. Noi siamo però tuttavia ben » lontani dal poter calcolare le quantità calorifiche, che si » sviluppano per cadauno degli esposti processi chimici, mec- » canici e fisici; e forse non giungeremo giammai a tale de- » terminazione; perchè i nostri metodi sono molto imper- » fetti da poter calcolare quanto avviene in una macchina » vivente. »

variazioni il grado del calore animale si mantiene sensibilmente costante. Il corpo inoltre è saggiamente coperto de' più cattivi conduttori del calorico, cioè di pelli o piume; e nei luoghi più sensibili è anche accumulato del grasso sotto la pelle. Il moto e la più frequente ingestione degli alimenti aumentano la temperatura quando il mezzo ambiente è freddo; ed in generale gli animali hanno tra certi limiti più mezzi di garentirsi da una temperatura troppo bassa, che di preservarsi da una troppo alta. Quando il mezzo ambiente in cui è l'animale immerso ha la stessa temperatura della sua o a questa superiore si aumenta l'esalazione alla superficie de' mammiferi; l'evaporazione dell'umore trasudato rende latente una parte del calorico, ed acquista il corpo una temperatura inferiore a quella dell'ambiente. Perciò si soffre più volentieri il calore dell'aria secca che quello dell'umida.

876. Il massimo ed il minimo di temperatura che distruggono la vita degli animali a sangue caldo non conoscendosi ancora esattamente, è probabile che varino secondo le specie. Non sembrano per altro oltrepassare ne' mammiferi il $- 26^{\circ}$, nè il $+ 45^{\circ}$. Soffrendo questi un freddo molto intenso si addormentano prima di soccombere, e finchè dura questa bassa temperatura restano in uno stato di letale torpore.

877. Dipendendo infine la temperatura degli animali a sangue freddo da quella dell'ambiente in cui vivono, s'intende perchè soggiacciono questi animali più di quelli a sangue caldo a straordinarie variazioni di temperatura. Nell'esterna temperatura intanto per la cui influenza si manifestano in essi i fenomeni vitali colla maggiore

vivacità il loro calore supera un poco quello de' corpi circostanti. E BROUSSONNET e DESPRETZ hanno osservato la temperatura di alcuni pesci alquanto maggiore di quella dell'acqua in cui vivono.

CAPITOLO IX.

DELLA NATURA DEL CALORICO.

878. Il Conte RUMFORD riproducendo e modificando un'opinione di BACONE, di CARTESIO, di EULERO e di altri valentuomini, sostiene che i fenomeni del calorico lungi dall'essere l'effetto di una sostanza materiale lo sieno invece di un moto vibratorio eccitato nell'etere esistente nello spazio mondano ed in tutti i corpi (§. 747). Seguendo queste vibrazioni calorifiche nell'etere, nelle molecole de' corpi e nell'etere in queste frapposto, ove l'intensità della vibrazione nelle molecole di un corpo si aumenti, dicesi che esso si riscalda, ed ove diminuisca si dice che si raffredda (§. 755).

879. Le più rapide ondolazioni prodotte nell'ambiente etereo da un corpo, come raggi calorifici agiscono sui corpi, i quali agitati da più lente vibrazioni diconsi freddi; e le più lente ondolazioni in questo stesso fluido dai corpi freddi eccitati, come raggi frigorifici agiscono sui corpi caldi. Tutte queste più o men rapide vibrazioni tendono all'isocronismo; e raggiuntele, i corpi che lo producono mostrano una eguale temperatura (§§. 832-845). L'emissione dei raggi non è così che una propagazione di vibrazioni. I raggi sono calorifici quando le vibrazioni d'un corpo considerato co-

me attivo sono più rapide di quelle del corpo passivo, e nel caso opposto sono frigorifici. L'effetto dell'emissione de' raggi è nullo, od inosservato, quando le vibrazioni sono rispettivamente isocrone.

880. Le vibrazioni di un corpo che si accelerano o si ritardano come crescono o scemano l'elongazioni o reciproche distanze delle parti, fanno che il corpo si dilati o si condensi secondo l'incremento o decremento del calore (§. 755). Per quanto rapide poi siano le vibrazioni, finchè le parti vibrato si tengono in certi limiti, serba il corpo il suo stato naturale; ma se cresce il moto in maniera da non poter più esse restare in tai limiti, l'effetto della loro coesione si distrugge, ed il corpo si rende liquido.

884. Or se l'intensità del moto di vibrazione principalmente dipende dal moto con cui si legano tra esse le molecole, sarà questo movimento tanto più intenso quanto più sono energiche le forze che riconducono le molecole al loro stato naturale di riposo. All'opposto una molecola libera non potrebbe vibrare, nulla avendo che la riconduca allo stato in cui era prima di muoversi. Quando dunque un corpo passa dallo stato solido al liquido, sono legate le sue molecole da forze meno intense di quelle che nello stato solido le univano. Dee quindi risultarne una diminuzione nel moto di vibrazione, una perdita cioè di calorico, che diventa latente (§. 787). Nel passaggio poi allo stato di gas, in cui le molecole sono più mobili e slegate, la perdita del moto dev'essere maggiore di quella che ha luogo nello stato liquido, come di fatto avviene. Nel ritorno in fine di un gas allo stato liquido o di un liquido allo stato solido, le mole-

cole più fra loro si accostano o legansi , e più intense sono le loro vibrazioni, onde riproducono un eccesso di calore eguale a quello che si era perduto negli stati opposti (§§. 786-790).

882. Or variando ne'corpi la natura e massa delle molecole, il modo della loro unione, e lo stato forse dell'etere che ne occupa i pori, diversa dev'essere ancora la quantità del moto di vibrazione da comunicarsi ad ogni corpo; il che costituisce la loro varia capacità (§. 792). La quantità poi del moto vibratorio da comunicarsi alle molecole di un corpo perchè passi da un grado di calore ad un' altro più elevato, costituisce in questa ipotesi ciò che diccsi calorico specifico (§. 792). Sostituendo quindi al calorico il moto di vibrazione ed alla quantità di quello l'intensità di questo , RUMFORD e DAVY ingegnosamente spiegano le dilatazioni, le temperature, e la capacità de' corpi, e tutti gli altri fenomeni del calorico(1). Per i fautori di questo sistema non sone le affinità che meccaniche azioni dell'etere sulle molecole materiali per dar loro una nuova disposizione, un nuovo ordine, ed un altro sistema di equilibrio secondo la diversa specie ed energia delle vibrazioni da cui sono agitate ; talchè per spiegare le chimiche affinità alcuni Fisici moderni si occupano della redazione di una nuova *meccanica* detta *molecolare*.

(1) Il Cavaliere SCINA' in prova di questa ipotesi accenna senza descriverli, e senza indicare ove siano descritti alcuni esperimenti con cui ARAGO venne distruggendo il calorico, ossia generando freddo colla doppia riunione del calorico nel medesimo luogo (*Fisica particolare*, Palermo 1828 tom. 1. p. 271). Essendo state inutili tutte le ricerche del

883. Le principali ragioni addotte da RUMFORD in appoggio della sua ipotesi sono le seguenti. I.° La grande quantità di calorico, che si svolge dietro la confricazione, è una vigorosa pruova dell'immaterialità del calorico. Essendosi fatto eeleremente girare per due ore un trapano ottuso in un cilindro di bronzo, si ridussero in polvere 4114 grani di questo metallo, sviluppandosi tanta quantità di calorico da elevare 26,38 libbre di acqua dalla temperatura del gelo a quella dell'ebollizione, mentre restò costante il calorico specifico della polvere metallica e del bronzo soffregato. Or se il calorico è materiale, non s'intende come senza variazione di calorico specifico possa svilupparsi tanto calore; mentre ciò ben s'intende se questo non deriva che da una vibrazione eccitata nelle particelle elementari de'corpi. II.° Non si può dare una esatta spiegazione dell'azione della neve sulla palla focale di un termoscopio. Poste ambe nei fochi di due specchi riflettori (§. 833), sembra ammissibile l'esistenza dei raggi *frigorigici*, che scagliati dalla neve e riflessi dallo specchio raffreddano lo strumento, non essendo adettabile la spiegazione datane da PREVOST (1) colla ineguaglianza dei baratti (§. 833) mediante il principio dell'equilibrio mobile (§. 832), cioè coll'ipotesi di assorbirsi da un corpo raggi calorifici in minore o maggior copia che non ne emette » per esser

ch. professore GERBI e mie per trovare la descrizione di questi sperimenti, non si può non ripetere con lo stesso, che non si saprebbe giudicare quanto la detta ipotesi ne sia convalidata.

(1) *Considerations sur le mode d'action du calorique. Bibl. Brit.* tom. 26.

» questa un'operazione non solo incomprensibile, ma anche impossibile, e tale che niuna analogia fa sospettare la probabilità, che un corpo da una parte acquisti » e ritenga, e dall'altra scacci nel tempo stesso una stessa sostanza. » III.° Situandosi la palla focale di un termoscopio fra due dischi metallici puliti oppure affumicati, di cui l'uno A sia tanto più caldo della palla di quanto l'altro B è più freddo, l'indice dello strumento resta stazionario, distruggendosi l'aumento di temperatura prodotto da A sul termoscopio dal decremento generato da B. Se l'esperienza prova che l'affumicazione favorisce l'emissione dei raggi calorifici (§. 824); essendo anche i dischi affumicati, eguale dev'essere in essi il potere emissivo. Or se questi raggi sono quantità di calorico emesso; come il termoscopio, invece di essere riscaldato da quella addizionale, che dee ricevere per la patina nera del disco B, n'è più raffreddato, com'è necessario, perchè il maggior riscaldamento prodotto dal disco A affumicato sia distrutto dal raffreddamento derivante da B?

884. Tutte queste ragioni sono state pienamente confutate. Sulla prima BERTHOULET (1) fa osservare di potersi agevolmente intendere il fenomeno senza negare la materialità del calorico, rammentando solo che la temperatura di un corpo si aumenta per la sua compressione (§. 856), ossia che per la diminuzione di volume di un corpo si sviluppa e rendesi libera ed attiva una parte del calorico latente ed inattivo prima della compressione. Ciò posto, non solo la polvere, ma anche tut-

(1) *Statica Chimica*, nota alla terza sezione.

te le parti del cilindro contribuiscono nel proposto esperimento allo sviluppo del calorico, tutte comprimendosi per l'azione del trapano.» Si è dovuto quindi svolgere, dice il BERTHOLLET, per la diminuzione del volume un calore eguale a quello che avrebbe prodotto un aumento simile di volume, supponendosi che i calori specifici del metallo non cangino in questa estensione della scala termometrica, e che le dilatazioni sieno uniformi, il che dee poco allontanarsi dal vero per temperature e dilatazioni vicine». Nè questa diminuzione di volume è inverisimile, cangiandosi considerabilmente per l'azione del torchio, delle trafilie e del martello il peso specifico de' metalli. « D'altronde nell'esperienza fatta da RUMFORD, continua lo stesso illustre fisico, per esaminare il calore specifico della limatura di bronzo che si era formata l'ha egli riscaldata sino alla temperatura dell'acqua bollente; ma questo minerale elasticissimo ha dovuto riprendere in parte, tostochè si è trovato libero, e specialmente in quest'ultima operazione, lo stato di dilatazione e la proporzione di calorico, che conviensi ad una certa temperatura; e quindi l'effetto della compressione, che esso avea provato, ha dovuto disparire in parte nel modo stesso che un metallo battuto a freddo, riprende le sue proprietà nell'esser ricotto. » Sviluppandosi inoltre per la confricazione elettricità, come si proverà a suo luogo, ed essendo questa talora causa di elevazione di temperatura, è probabile che l'elettrico prenda anche parte alla produzione del fenomeno in quistione (1);

(1) GERBI, *Corso elementare di Fisica*, tom. 3. p. 226.

e THOMSON riferisce de' fatti in appoggio di questa congettura.

885. Riguardo poi alla seconda ragione non è impossibile, nè improbabile che un corpo riceva ad un tempo ed emetta la stessa sostanza, provandosi ciò colla macchina elettrica, che contemporaneamente riceve dal suolo, e trasmette ai corpi vicini il fluido elettrico.

886. L' esperimento in fine con cui si vuol sostenere la terza ragione, facilmente spiegasi colla teorica del baratto dei raggi calorifici. Se il disco affumicato B emette in maggior copia i proprii raggi calorifici, riflette in minor copia i raggi che dai corpi vicini gli pervengono. Se dunque alla palla del termoscopio giungono più raggi diretti dal disco affumicato, ve ne giungono meno dei riflessi; onde crescendo da un lato la causa del calore, decresce dall' altro; ed eguagliandosi l' aumento della prima cagione alla diminuzione della seconda, la palla del termoscopio restar deve inalterata.

887. Attesa l' insussistenza delle ragioni addotte da RUMFORD, e da altri, per dimostrare di non essere il calorico una sostanza, ci atterremo colla maggior parte dei Fisici all' opinione contraria, 1.º perchè meno ipotetica; 2.º perchè più atta a spiegare i fenomeni chimici che ripeter soglionsi da una speciale affinità del calorico per molte sostanze (1), e la facile propagazione del calore, che nella contraria ipotesi non potrebbe aver luogo che nel concordante isocronismo delle vi-

(1) FOURCROY, *Système des Connos. Chim.* tom. 1. p. 135.

brazioni del corpo che comunica e di quello che riceve il calore; 3.^o e perchè difficilmente potrebbe spiegarsi come un termometro possa segnare nel vuoto una temperatura eguale a quella de' corpi vicini.

888. Essendo il calorico corporeo , se n' è indagata la natura ; ma attese le inutili ricerche all' uopo praticate da PREVOST, LA METHERIE e LESLIE, lo stato attuale della scienza ci obbliga a desistere da una tale impresa. Quello che essa ci permette di avvertire è che le particelle di questo fluido debbono essere sommamente tenui , penetrando esse ed attraversando i corpi più densi colla massima facilità. È per tale eccessiva tenuità che non se n' è ancora potuto precisare il peso; e se BUFFON credè di averlo ben rilevato, i suoi sperimenti non sono di alcun valore, perchè contraddetti da quelli di BOERHAVE e di altri. Intanto il valentissimo professore DE SANTIS avendo osservato con un ingegnoso apparato la propagazione del calorico nel vuoto esser più facile d' alto in basso che da basso in alto , ha creduto poterne inferire la gravità del calorico (1). Si è opinato anche atto a comprovarla quest' altro sperimento. Ripieni in parte due stortini A, B (Tav. 10 fig. 44), l' uno di acido solforico e l' altro di acqua, e saldati esattamente i loro colli colla fiamma della lucerna onde formarsi come un sol tubo terminato da due globi, si agitano in modo da mescolarne i liquidi. Nell' atto del miseuglio l' apparato altamente si riscalda, ma ritornato alla primiera temperatura si trova più leggiero di quello che era prima della miscela (2).

(1) *Bibl. Brit.* Tom. 46. p. 24.

(2) *Idem* p. 404.

889. Attesa però la rapidità del calorico raggiante, e l'incostanza de' risultati ottenuti col primo esperimento, non va questo esente da illusione (1). E la diminuzione poi del peso dell'apparato ottenuta col secondo esperimento può essere apparente, o dipendente dall'alterazione di volume sofferta dal vetro. Provato dunque da RUMFORD che la quantità di calorico atta a portare una massa d'oro del peso di $9 \frac{3}{4}$ onces dalla temperatura del gelo a quella dell'ebollizione non ne aumenti sensibilmente il peso da potersi valutare con una bilancia capace di mostrare la differenza di $\frac{1}{1000000}$ di quello che l'aggrava; si ha tutto il fondamento per riputare equivoci ed illusorii i due cennati esperimenti al pari di quelli di FORDICE comprovanti il peso de' corpi diminuito e non aumentato dalla presenza del calorico (2). Può quindi riguardarsi questo come un fluido imponderato, e non imponderabile; poichè, come corpo, non può non essere soggetto alla legge di gravità; come dotato però di particelle estremamente sottili che sfuggono ai più squisiti mezzi di valutazione, non si è potuto finora con alcun esperimento riconoscerlo pesante.

(1) *Bibl. Brit.* Tom. 46. p. 406.

(2) *Philosoph. Transact.* for. 1799.

LIBRO NONO

DELLA LUCE

CAPITOLO I.

DELLA LUCE IN GENERALE.

890. Se l' universo al dir di un profondo pensatore non è per noi che un assieme di sensazioni, che mai esso sarebbe se ci mancasse il senso della vista? I sensi del tatto, dell' odorato e del gusto ci avvertono della presenza e delle proprietà degli oggetti che colpiscono i nostri organi; l' udito ci fa percepire quei particolari movimenti dell' aria e de' corpi in essa immersi, che li rendono sonori, ma l'occhio, benchè sia l' organo meno sicuro ed il più illusorio, è non pertanto il più nobile ed ammirabile, meno per la rapida conoscenza che ci procura delle più svariate proprietà della materia riguardo al colore, alla figura, alla grandezza ed alla disposizione de' corpi, che per le idee che ci trasmette dello stato e delle proprietà de' corpi da noi lontanissimi. L'organo insomma della vista è il più importante mezzo della vita di relazione, senza del quale non vi sarebbe che quella sola di conservazione.

894. La materia che ci mette in rapporto cogli oggetti circostanti, e ci procura le sensazioni della vista, dicesi *luce*. Ma questa luce è forse emanata dagli occhi

nostri per abbracciare i corpi, come pensavano gli antichi ; o secondo NEWTON una serie di particelle emesse dal corpo luminoso od illuminato ; oppure secondo la maggior parte de' Fisici moderni un fluido universalmente sparso che per mezzo di moti vibratorii produce i fenomeni della visione ? Riserbando alla fine di questo libro l'esposizione e l'esame di queste opinioni , ci limitiamo ora a spiegare i svariati fenomeni della luce secondo il sistema delle emissioni.

892. Comunque la cosa avvenga quando vi è luce si deve supporre sempre presente un corpo che la produca. Può questo produrla o per sua propria virtù, nel qual caso dicesi *luminoso* per se stesso, oppure *illuminante* ; o può cagionarla, per riflettere in tutto od in parte quella che da un corpo luminoso gli perviene, ed in tal caso chiamasi il corpo *illuminato*.

893. Il primo de' corpi luminosi è certamente il sole. Benchè s'ignori la natura di questo astro ed il suo modo d'illuminare, è però innegabile di esser desso la sede principale di quella luce , che rischiarà tutto il nostro sistema planetario, e che ci apre nell'universo l'immensità dello spazio. Non sono le stelle che altrettanti soli, centro ognuno di un particolare sistema, onde sono tutte cagioni perenni di luce, che per altro ci giunge troppo languida per l'immensa lontananza che da esse ci separa. I corpi così detti *fosforescenti* sono naturalmente luminosi. Alcuni di essi appartengono al regno animale , come la lucciola che splende nei campi, e tanti insetti microscopici, che trovandosi nelle acque marine si rendono nelle regioni tropicali tanti lampioni viventi ; sono altri degli avanzi di esseri or-

ganizzati prossimi alla putrefazione, come gli animali marini vicini a decomporsi; od esseri organizzati già corrotti, come i legni infradiciati per l'umido; ed altri finalmente appartengono al regno inorganico come i diamanti ed il fosforo (1).

894. Non sono però i corpi luminosi le sole sorgenti di luce. Debbono annoverarsi tra queste le chimiche combinazioni prodotte dalle varie affinità, come per esempio la combustione della cera, del sevo, dell'olio, delle legna, dell'idrogeno e simili; la compressione, la percossa, lo stropicciamento, l'elevazione di temperatura a cui i corpi possono essere assoggettati, e l'elettricità. L'acqua e l'aria fortemente compresse sviluppano luce; percuotendo l'uno coll'altro due finocchietti scintillano; stropicciando un pezzo di zucchero, diventa luminoso. Molti Fisici, tra quali DESSAIGNES, hanno rilevato, che i corpi per qualche tempo esposti al sole risplendono nell'oscurità, ed il loro chiarore è in ragione inversa del grado di loro umidità; che tutti i corpi cominciano a rendersi luminosi ad un grado di calore superiore ai 500° C., e che ad ugual temperatura i corpi solidi emettono più luce dei gassosi.

895. I corpi non luminosi per se stessi si distinguono in *opachi*, come i legni, i metalli, le pietre; in *diafani* o *trasparenti*, come l'aria, l'acqua ed il vetro; ed in *traslucidi*, come la carta sottile, ed il vetro spolito. I corpi opachi non trasmettono luce attraverso la loro

(1) Fra i corpi fosforescenti si annoverano da alcuni Fisici anche i corpi bianchi, attesa la gran quantità di raggi che riflettono.

massa; ma è ciò un effetto piuttosto della loro spessezza, che della natura delle sostanze, permettendo tutti i corpi ridotti in lamine sottilissime il passaggio ad una parte di quella luce che su di essi cade. I corpi diafani trasmettendo la luce permettono di osservare gli oggetti attraverso la loro materia. I gas, i liquidi, e la maggior parte de' corpi cristallizzati sembrano godere generalmente di questa proprietà in sommo grado quando hanno poca massa, poichè essendo in tal caso incolori permettono di vedere non solo la forma degli oggetti, ma anche tutte le piccole gradazioni delle loro tinte. Intanto i corpi più diafani divengono colorati quando hanno una sufficiente spessezza, il che prova di assorbire essi allora una parte della luce che gli attraversa. Così una gocciola d'acqua è perfettamente limpida, ma le grandi masse acquose sono sempre azzurrognole o verdastre; e si è calcolato che immerso un uomo nell'acqua marina la più limpida sino alla profondità di 450 piedi, la luce del sole non sarebbe per lui più risplendente di quello ch'è per noi quella della luna. È per questo assorbimento che il più terso cristallo sembra opaco quando la sua spessezza è di alcuni pollici; ed il fondo de' profondi mari è assolutamente privo di luce e quindi invisibile. I corpi traslucidi finalmente benchè lascino passare una parte della luce che ricevono, non permettono però di distinguere nè il colore, nè la distanza, nè la forma degli oggetti. Intanto spesso chiamansi, quantunque erroneamente trasparenti, tanto i corpi traslucidi che i diafani.

896. L'ordine quindi con cui i fenomeni della luce vanno studiati, è il seguente. Tengono il primo luogo

quelli che concernono le proprietà della luce, che liberamente lanciandosi dai corpi luminosi attraversa lo spazio in sentieri rettilinei; prendono nell' esame il secondo luogo i fenomeni della luce dai corpi riflessa; ed il terzo quelli relativi alle proprietà della luce, che varii mezzi attraversando devia dal suo corso naturale. La storia dunque della luce costa di tre parti, cioè dell' *ottica*, della *catottrica*, e della *diottrica*. Saranno esposti a compimento tutt' i diversi strumenti che costrutti sulle leggi catottriche o diottriche, o giovandosi ad un tempo di entrambe, l' azione della vista garantiscono ed aumentano.

CAPITOLO II.

DELLA LUCE DIRETTA.

897. Praticato un bucolino nell' imposta di una finestra, e fattovi entrare in una stanza buia un raggio di luce, questo si muove in linea retta, e se nel fondo della stanza ed in direzione perfettamente opposta al cennato bucolino ve ne sia un altro da cui uscir possa il raggio introdottovi, proseguirà esso il suo cammino nella stessa linea retta. Senza più oltre insistere su questo particolare, nell' idea d' esser la luce un fluido di proprio genere, esilissimo, imponderabile, e sommamente elastico, può dirsi ch' esso propagasi sempre in linea retta. Or qualunque retta che s' immagini condotta da un punto luminoso ed indichi il sentiere dalla luce scorso, chiamasi *raggio di luce*. Non devesi riguardar questa che come un efflusso non mai interrot-

to, ed ogni suo raggio come una filza di molecole luminose che si succedono in modo da lasciare fra esse intervalli impercettibili. Imperocchè durando in noi per qualche tempo l'impressione della luce, per la continuazione di questa sensazione visuale altro non si richiede che il tempo, in cui succedendosi due molecole luminose, non sia maggiore di quello dell'impressione prodotta nell'occhio dalla prima di esse.

898. Riferendosi dagli antichi Fisici il moto della luce alle piccole distanze, che sulla terra aver si possono, credettero la sua propagazione istantanea. Conosciuto questo errore da GALILEO, cercò di misurare la velocità della luce; ma inutili furono le sue ricerche per la brevità dell'intervallo, che nelle sue osservazioni percorreva la luce. ROEMER nel 1676 (1) e quasi ad un tempo CASSINI valutarono la velocità della luce per mezzo delle astronomiche osservazioni del moto del primo satellite di Giove. Accompagnato questo pianeta da quattro satelliti, proietta nello spazio mondano un'ombra conica, di cui la parte illuminata è la base. Ciò posto essendo T la terra (Tav. 40 fig. 45) e TABC la sua orbita, nel di cui centro è il sole S; ed essendo parimente G Giove, e DEF l'orbita del suo primo satellite D; questo come gli altri tre satelliti si eclissa immergendosi nell'ombra conica. Or l'emersione di questo satellite da questa ombra si osserva più tardi quando la terra è in B che quando è in T, cioè più tardi quando la terra è in opposizione che quando è in congiunzione con Giove; e questa differenza di tempo se-

(1) ROEMER *Basis Astronomiae*, Harniac 1735. p. 121.

condo i calcoli verificati da BRANDLEY è di $16', 26''$. La luce dunque impiega $16', 26''$ a pervenire dal punto T al punto B, a percorrere cioè il diametro dell'orbita terrestre, ed $8', 13''$ a scorrere il raggio SB delle stessa orbita, ossia impiega poco più di mezzo quarto d'ora per giungere dal Sole a noi. E poichè il diametro TB si calcola della lunghezza di circa 69 milioni di leghe, che dalla luce si scorre in $16'$ e $26''$; supposto il suo moto uniforme, si propaga questa con tale velocità, che scorre 70000 leghe in ogni secondo.

899. Guardando intorno ad un corpo lucido, ad una fiaccola accesa, per esempio, si vedrà questa sempre in qualunque punto dello spazio si piazzerà l'osservatore, purchè qualche corpo opaco non pongasi fra l'occhio suo e quella. Poichè propagandosi la luce in linea retta, un punto luminoso, se non gli si oppone un ostacolo, dee vedersi in qualunque parte, da cui può tirarsi una retta che giunga sino ad esso. Or potendosi da ogni punto dello spazio tirare allo stesso una linea retta, non può non considerarsi il corpo luminoso come il centro di una sfera di luce che si propaga, ed indefinitamente si estende in ogni senso. I raggi di luce dunque si propagano in ogni direzione, e partendo dal punto luminoso camminano fra loro divergenti.

900. Per conoscere la legge di questa divergenza non si deve che adattare al buco della finestra di una camera buia il tubo AB (Tav. 10 fig. 16) portante la lente convesso-convessa G, che unisce in un punto B tutt'i raggi solari raccolti dal tubo. Riguardandosi questo punto come il vertice di un cono di raggi luminosi

divergenti, se a questi si oppone ad un'arbitraria distanza un piano, per esempio un grosso cartone bianco perpendicolare all'asse del cono, si vedrà 1.° che movendosi questo piano parallelamente a se stesso lungo l'asse dall'apice B verso la base, si descriveranno su di esso successivamente tanti cerchi lucidi, la di cui ampiezza sarà in ragion diretta dell'allontanamento del piano intercettante dal vertice; 2.° che alla distanza BG doppia di BE la superficie del cerchio lucido FG sarà quattro volte maggiore di quella di DE; 3.° che alla distanza BI tripla di BE l'ampiezza del cerchio HI sarà nove volte maggiore di DE (1). Ma la quantità della luce che partendo dal punto B produce i tre cerchi, è la stessa, ed altra mutazione non soffre che quella derivante dalla sua divergenza; onde la stessa quantità di luce ad una doppia distanza illumina un quadruplo numero di punti, e ad una tripla distanza un numero di punti nove volte maggiore di quello che faceva alla distanza come uno. Adunque ognuno dei punti di FG riceve ed è illuminato da una quantità di luce quattro volte minore di quella che illumina ogni punto di DE, ed ogni punto di HI riceve ed è illuminato da una quantità di luce nove volte minore di quella che rischiara ogni punto del cerchio DE. Onde essendo l'intensità della luce quattro volte minore ad una doppia distanza, e nove volte ad una tripla distanza dal punto illuminante, per esser 4 il quadrato di 2,

(1) Potrà all'uopo impiegarsi la dimostrazione riportata per la forza di gravità (§. 61), riguardandosi T (Tav. 1 fig. 3) come centro illuminante.

e 9 quello di 3; per la divergenza dei raggi l'intensità della luce in un mezzo libero diminuisce in ragion del quadrato della distanza.

901. Sostituendosi ai piani E, G, I (Tav. 10 fig. 16) l'occhio situato in G oppure in I, e diminuendo l'intensità della luce nella ragione de' quadrati delle distanze, ne riceverà, per la divergenza de' raggi, quattro volte di meno in G, e nove volte di meno in I, che non ne riceveva in E. Onde bastando una candela accesa per leggere distintamente alla distanza BE come uno, vi bisogna la luce di quattro candele alla distanza BG doppia della precedente; e quella di nove alla tripla BI per leggere lo stesso libro così distintamente come leggeasi alla distanza BE.

902. Or guardando l'occhio un punto illuminante qualunque, i raggi divergenti, che da questo si spiccano costituiscono il cono lucido BAC (Tav. 10 fig. 17), la di cui base è l'ampiezza dell'occhio BC, l'apice il punto raggiante A, e l'asse il raggio AD. Ma ogni punto di un oggetto qualunque si rende visibile perchè spicca raggi di luce, i quali come divergenti producono nell'occhio un cono lucido; dunque riceve l'occhio l'impressione di ogni punto di un oggetto mediante un cono di raggi lucidi divergenti. Da ciò l'abitudine di riferire ogni punto di un oggetto all'apice A della piramide BAC, ed il ritrovamento del punto A nella direzione dell'asse DA dello stesso cono.

903. La divergenza de' raggi costituenti il cono luminoso BAC (Tav. 10 fig. 17) che partito da un punto qualunque A di un oggetto si riceve dall'occhio, si misura dall'angolo BAC de' raggi estremi AB, AC. Or a misura che il punto A si allontana dall'occhio, la di-

vergenza de' raggi si aumenta, ed il numero di quelli che penetrano nell'occhio si diminuisce. Trasportandosi infatti l'occhio in I, la base del cono raggianti sarebbe EF, l'angolo diverrebbe EAF, e riceverebbe l'occhio tutti i raggi compresi tra AE ed AF, mentre alla distanza D riceve quelli compresi tra AB ed AC. Se dunque aumentandosi la distanza dal punto raggianti la quantità della luce che penetra nell'occhio si diminuisce, deve nella stessa ragione diminuire la chiarezza dell'oggetto. E trovandosi l'occhio moltissimo lontano dal punto irradiante, tanto poca luce lo ferisce da non avvertirne l'impressione, e l'oggetto ci si rende invisibile.

904. I raggi di luce debbonsi dunque riguardare come tante verghe dritte poste tra gli occhi e gli oggetti, mediante i quali si avverte l'impressione di questi, e se ne valutano e determinano la distanza, i contorni, la grandezza, e tutt'altro. Ogni raggio quindi eccitando il sentimento del punto dell'oggetto da cui parte, quasi lo dipinge e lo rappresenta. E colpendo la luce l'occhio, ogni particella lucida porta seco l'immagine di quel punto da cui parte; e qualunque sia la sua direzione, sempre si riferisce l'immagine a quella dell'ultimo raggio che colpisce l'occhio.

905. Se avanti la finestra EF (Tav. 10 fig. 18) che ha in D un buco, in cui sia incastrata una lente convessa, si ponga l'oggetto ACB; sulla muraglia GH opposta alla finestra si ci osserverà l'immagine *acb*, esattamente eguale all'oggetto ACB, ma capovolta; poichè mandando ogni punto di questo de' raggi in tutte le direzioni (§. 899), tre coni luminosi partiti dai tre punti A, C, B, e attraversando la lente D si frasta-

gliano. E poichè i raggi costituenti il cono b derivano da A e si trovano in b tali quali erano partendo da A , debbono dipingere in b l'immagine del punto A . Per la stessa ragione si dipinge in a l'immagine di B ed in c quella di C , e così di tutt'i punti fra questi intermedi; ma tutti questi cono si sono incrociati attraversando la lente D , l'immagine dunque deve dipingersi rovesciata ed in senso opposto dell'oggetto. Or se nel punto D un occhio guardi l'oggetto ACB , gli stessi cono s'incrocieranno nell'occhio in D formando l'angolo ADB . Quest'angolo formato dagli assi de' due cono lucidi che partono dagli estremi punti degli oggetti, dicesi *angolo ottico*, e pel suo mezzo, come con un compasso misuriamo la grandezza apparente degli oggetti, rendendosi questa, od AB , maggiore o minore secondocchè l'angolo ottico risulta più grande o più piccolo. Producendo inoltre lo stesso corpo angoli tanto più acuti quanto più si allontana dall'occhio, sembra tanto più piccolo quanto è più lontano.

CAPITOLO III.

DELLE OMBRE.

906. Esposte le leggi della propagazione della luce spiccata dai corpi luminosi, si può meditare sui fenomeni che ci presenta imbattendosi cogli opachi. Quando i raggi di luce scagliati da un corpo luminoso incontrano nel loro tragitto un corpo opaco, atteso il loro moto costantemente rettilineo non possono diffondersi dietro di esso; onde il corpo opaco intercetta il passaggio a tanti raggi di luce, quanti ne cadono sulla sua superfi-

cie, mentre quelli che camminano per il di là de' suoi limiti l'oltrepassano senza esserne alterati. Questo spazio privo di luce sito dalla parte non illuminata, dicesi *ombra*. L'ombra intanto non suppone la privazione di ogni, sebbene fievole quantità di luce derivante da altre sorgenti; ma bensì la mancanza della luce predominante; mentre la totale sua privazione costituisce l'*oscurità*. Spesso per altro riguardasi come oscuro un corpo privo della luce necessaria per vedersi distintamente.

907. Essendo l'ombra terminata da più rette rappresentanti i raggi emessi dal corpo lucido, e radenti l'estremità dell'opaco; l'ombra propriamente detta rappresentar deve un volume di forma dipendente ad un tempo da quella del corpo luminoso e dell'opaco, e dalla posizione di questo riguardo a quello.

908. Supposti sferici i due corpi, ed il corpo luminoso A maggiore dell'opaco B (Tav. 40 fig. 49), deve l'ombra rappresentare un cono; poichè immaginando congiunti i centri delle due sfere dalla retta AB, e tirata la comune tangente CD sino ad incontrarsi in E colla retta AB prolungata; il moto della tangente fissa in E intorno ad AE in modo da fare con essa sempre lo stesso angolo, descriverà la superficie di un cono avente per base il cerchio della sfera opaca terminato da tutt' i punti di contatto. La parte dunque illuminata del globo opaco è maggiore dell' oscura, essendo il piano che le divide uno de' suoi cerchi minori, situato nell'emisfero opposto a quello che è in faccia al corpo luminoso.

909. Se i due globi sono eguali, sarà l'ombra un cilindro di lunghezza indefinita, e la parte illuminata del globo eguaglierà la non illuminata. Se poi il globo opa-

co è maggiore dell'illuminante, la lunghezza dell'ombra anche indefinita rappresenterà un cono tronco, i di cui punti di contatto col corpo opaco saranno sulla circonferenza di uno de' suoi cerchi minori, talchè la parte illuminata di questo globo sarà minore dell'oscura.

910. L'ombra poi proiettata su di un piano, detto perciò *piano di proiezione*, situato dietro il corpo opaco che la produce, non è che la sezione di questo piano nel volume dall'ombra rappresentato. Così, per esempio, nel caso de' due globi, la *proiettata*, cioè la figura dell'ombra sul piano, sarà un cerchio, un'ellisse, od una iperbole; perchè il piano di proiezione tagliando comunque il cono dell'ombra generar deve una delle sezioni coniche.

911. Posto in S (Tav. 40 fig. 20) un corpo luminoso, essendo CD un corpo opaco, un bastone per esempio, verticalmente situato sul piano AB, la tangente tirata dal punto S a C, in modo da formare in questo secondo punto il minimo angolo, e che prolungata incontri il piano DB in G, rappresenterà il raggio che radendo l'estremità del corpo opaco divide lo spazio rischiato dall'oscu- ro, cioè il raggio limitatore dell'ombra rappresentata dal triangolo DGC; e la lunghezza della proiettata sarà espressa da DG. Or aumentandosi la elevazione del corpo luminoso S su di AB, passando cioè in S' od in S''; il raggio limitatore diviene S'E, oppure S''E, e la lunghezza della proiettata diviene DF, o DE. Di quanto dunque crescerà l'angolo DGC, o l'altezza del corpo luminoso sul piano di proiezione, di altrettanto si menomera la lunghezza dell'ombra, ed al contrario. E delle ombre prodotte dal sole

le più corte si formano nel mezzodì , quando cioè ha desso la massima altezza, e le più lunghe verso sera o mattina , in cui è desso men alto sull' orizzonte. È fondata su questo principio la *Gnomonica*, o l' arte di descivere gli orologii solari (1).

912. Cadendo l'ombra di un corpo sul piano di proiezione, non avviene un rapido ed immediato passaggio dalla luce alle tenebre; ma la luce va menomando per gradi sino a che non giunga nello spazio non rischiarato , ossia nell' *ombra pura*. Per ben intendere questa degradazione di luce , suppongansi A il corpo luminoso (Tav. 11 fig. 1), B il corpo opaco , e CD il piano di proiezione ; rappresenterà EF il profilo dell'ombra pura. Or tirando le tangenti *ab, ac, de, fg, hi* del globo opaco B, che incontrano il corpo luminoso, si può intendere il fenomeno per ciò che ha luogo nella parte sinistra dal punto E al punto C. Essendo la tangente *fg* de' due globi alla maggior possibile distanza da E fra tutte quelle che possono giungere al globo A; il punto *g*, e con maggior ragione i punti più lontani verso C ricevono altrettanti raggi come se il globo B non esistesse , ricevono cioè tutti i raggi che partono dai punti compresi tra *f* e G ; ma non riceve il punto *e* alcuno de' raggi tramandati dai punti situati tra *f* e *d*; il punto *b* è privo di tutti i derivanti dai punti compresi tra *d* ed *a*; e tutti i raggi tramandati dalla parte del globo A volta verso il piano CD sono perduti pel punto

(1) Si è convenuto per i disegni di eseguire la lunghezza delle ombre come se i raggi luminosi formassero col corpo illuminato un angolo di 45 gradi.

E; l'effetto dunque della luce scema progressivamente da g sino ad E, limite dello spazio EF occupato dall'ombra pura. Questa luce gradatamente decrescente dicesi *penombra*, che da una parte si estende dal punto g sino ad E, e dall'altra da i sino ad F (1).

913. La penombra intanto per delle circostanze, che possono alterarla, non è sempre della medesima estensione. Nel triangolo gIE (Tav. 11 fig. 1) il lato gE , che misura la penombra, si aumenta in ragione dell'angolo gIE ; ma eguaglia questo il suo alterno ed opposto GIH , misura del diametro del corpo lucido; l'ampiezza dunque della penombra è proporzionale al diametro apparente del corpo luminoso. Se quindi l'oggetto lucido è un punto irraggiante, la penombra si riduce a nulla, annientandosi in tal caso l'angolo GIH , e per conseguenza gIE . L'ampiezza in secondo luogo della penombra dipende anche dall'obbliquità con cui i raggi GE , Fg cadono sul piano di proiezione; poichè quanto questa obbliquità d'incidenza è maggiore, tanto più il punto E dista dal punto g ; e crescendo così lo spazio Eg , che misura la penombra, sarà questa più lunga. Or cadendo i raggi sul piano CD tanto più obliqui per quanto il corpo lucido che li tramanda è meno elevato sullo stesso piano di proiezione; pei corpi dal Sole illuminati crescono le penombre verso il mattino e verso sera. Procedendo infine i raggi IE , Ig divergenti, tali tanto più si rendono quanto più distante dal punto I incontrano il piano di proiezione CD; or

(1) Servonsi gli Astronomi della considerazione della penombra nella teoria dell'eclissi.

se il punto *g* dista dall' altro *B* in ragione della distanza di *I* da *CD*, può dirsi che date le altre cose eguali l'estensione della penombra si aumenta secondo la distanza del corpo opaco dal piano di proiezione.

914. Vuolsi inoltre avvertire che nella produzione de' raggi radenti il lembo de' corpi opachi camminanti per sentieri rettilinei, se i raggi di un corpo lucido situati alla destra di un corpo opaco non fossero da questo intercettati, illuminerebbero lo spazio dietro di esso posto alla sua sinistra, ed al contrario. Or restando questo spazio oscurato dall'interposizione del corpo opaco, l'ombra riguardo a questo si forma in un sito opposto a quello in cui il corpo lucido è collocato. Movendosi dunque questo da destra a sinistra, l'ombra si muoverà da sinistra a destra, e così in ogn' altro punto avviene sempre in contrario senso. I raggi di un corpo lucido incontrando ostacolo al pari di quelli che spiccansi da altri corpi luminosi, un corpo opaco produrrà dietro di se tante ombre per quanti sono i corpi lucidi che lo rischiarano. Derivando infine la densità dell'ombra dal contrasto della luce collo spazio non rischiarato, risulta l'ombra tanto più oscura per quanto più illuminato è lo spazio che la circonda. La luce dunque più intensa dee produrre l'ombra più oscura; e l'ombra di notte-tempo prodotta da una candela accesa è più oscura di quella prodotta di giorno dalla stessa candela; non essendovi di giorno quasi alcun'ombra vera, cadendo in uno spazio illuminato le ombre che di giorno produconsi.

915. Oltre il già detto (§§. 914-912) basta rammentare di quanto interesse sia la cognizione delle om-

bre nella Geometria descrittiva per studiarne convenevolmente i particolari. L'ombra prodotta da un oggetto verticale su di un terreno orizzontale può anche farne trovare l'altezza. Volendosi, per esempio, conoscere l'altezza della torre AB (Tav. 41 fig. 2), la di cui ombra BCA sia determinata dal raggio solare BC radente la sommità dell'edifizio, non si dee che piantare verticalmente nel terreno un bastone DE in modo che appena tocchi col suo estremo E il raggio solare BC. La proporzione $CD : DE :: CA : AB$, risultante dai triangoli simili ABC, DEC, attese le tre prime lunghezze commensurabili rende determinabile la quarta. Data per esempio la lunghezza dell'ombra $AC=40^m$, la distanza CD dal principio dell'ombra al piede del bastone $= 2^m$, e l'altezza DE del bastone $= 3^m$, sarà $AB = \frac{CA \times DE}{CD} = \frac{40 \times 3}{2} = 60^m$; onde l'altezza della torre sarebbe in tal caso di 60 metri.

916. Omettendo altri usi delle ombre basta per tutto sapere di potersi valutare pel loro mezzo il rapporto dell'intensità e chiarezza della luce di due corpi luminosi. Allontanate una candela ed una fiaccola da un corpo opaco finchè gittino entrambe sullo stesso piano ombre di eguale densità, eguale sarà l'intensità della luce della candela e della fiaccola; ma per ottenere questa eguale intensità di luce lo splendore de' due corpi luminosi dev'essere in ragion diretta del quadrato delle loro rispettive distanze sul piano di proiezione; il rapporto dunque che passa tra la chiarezza della candela e quella della fiaccola, il rapporto eguaglia dei

quadrati delle distanze di ambi i lumi dal piano di proiezione. Riferita così la luce del sole a quella della luna e lo splendore di entrambi a quella di una candela accesa; si è inferito essere la luce della luna quasi 300000 volte più debole di quella del sole nella loro media distanza dalla terra. Dopo i travagli di BOUGUER e di LAMBERT, LESLIE ed il Conte di RUMFORD hanno proposto degli istrumenti molto atti a valutare la varia intensità della luce proiettata dai diversi corpi illuminati.

CAPITOLO IV.

DELLA LUCE RIFLESSA.

917. Giungendo i raggi di luce alla superficie de' corpi opachi, e non potendo attraversarli, si ripiegano e tornano indietro per lo stesso mezzo pel quale erano passati. Questo ritorno è eiochè dicesi *riflessione*. Per conoscerne la legge non si dee che introdurre un raggio di luce per mezzo di una piccola apertura in una camera oscura, e farlo cadere sul piano metallico molto levigato AB (Tav. 11 fig. 3), situato sul diametro di un semicerchio graduato. Dirigendo il raggio in modo che cada sul piano lungo la normale CD, lo si vede rimbalzare su di DC, ossia ritornare esattamente per la stessa linea per cui era disceso. Diriggendolo poi obliquamente, per esempio nella direzione ED di 45° ; esso rimbalzerà per DF formando parimente un'angolo di 45 gradi. Or il punto D, in cui il raggio incontra il piano riflettente, dicesi *punto d'incidenza*; il raggio

ED *raggio incidente*, e DF *raggio riflesso*; l'angolo EDC formato dal raggio incidente ED e dalla perpendicolare DC dicesi *angolo d'incidenza*, e l'angolo CDF prodotto dal raggio riflesso DF e dalla stessa perpendicolare, *angolo di riflessione*. Verificandosi l'esperimento in ogni caso di obbliquità del raggio incidente, si è stabilito che nella riflessione della luce l'angolo di incidenza eguaglia quello di riflessione, ed i due raggi incidente e riflesso trovansi nello stesso piano.

918. Formando il raggio incidente CD (Tav. 11 fig. 3) colla superficie AB a cui è normale, un angolo retto, eguale a quello formato dal raggio inflesso DC; si dice anche in questo senso che quando il raggio di luce cade verticalmente sullo specchio forma l'angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione. Cadendo poi il raggio obbliquamente sul piano AB, per l'eguaglianza dei due angoli EDC, CDF risultano anche eguali gli angoli formati dal raggio incidente e dal riflesso colla superficie riflettente, cioè EDA ed FDB, per esserne i complementi; onde si sostituiscono talora questi angoli a quelli d'incidenza e riflessione.

919. Per intendere la causa ed i fenomeni della riflessione si riguardarono le particelle della luce come perfettamente elastiche, e le superficie che regolarmente le riflettono come perfettamente pulite. Imbattendosi quindi quelle molecole colle particelle solide di queste superficie, per l'elasticità muover deve la luce riflessa per una diagonale eguale e posta secondo quella descritta dalla luce incidente, onde l'angolo d'incidenza eguaglia quello di riflessione (§. 535). Ma per delle

valide ragioni non ha potuto questa opinione adottarsi. Dapprima le superficie riflettenti lungi dall'essere perfettamente levigate ed uniformi, non sono tutte che ineguali e ripiene di prominenze e di cavità, piccole ed incalcolabili per noi, ma notabili riguardo alla luce, tali essendosi osservate col microscopio; onde la luce non potrebbe mai essere regolarmente riflessa da superficie cotanto irregolari. Cadendo inoltre un raggio di luce sulla superficie di un vetro qualunque, è riflesso da ambe le parti di questo; or se il raggio rimbalza perchè urta contro le particelle solide del vetro, come attraversando la massa di esso ne oltrepassa più strati, così dovrebbe essere riflesso da ognuno di essi, il che non ha luogo. Cadendo infine un raggio di luce sulla superficie del vetro o dell'acqua stagnante e tranquilla molto obliquamente, invece di trapassare per questi corpi trasparenti n'è all'opposto rimbalzato; come dunque lo stesso corpo ora permette ai raggi luminosi il passaggio ed ora li riflette?

920. Per queste ed altre ragioni credè NEWTON di esistere intorno ai corpi una forza che agendo a poca distanza dalla loro superficie ne faccia rimbalzare i raggi prima che giungano a toccarla. E mostrandosi questa forza sotto l'aspetto di un'azione ripellente esercitata dalle parti del corpo riflettente su quelle della luce, fu detta da NEWTON *forza di repulsione*. Per comprendere l'azione di questa forza divider si deve in due la celerità con che la luce s'imbatte obliquamente, l'una parallela e l'altra normale al piano riflettente. La prima resta invariabile, e la seconda è dapprima di mano in mano ritardata a misura che il raggio s'immerge

nella sfera d'attività della forza ripulsiva, e poi del tutto annientata. Essendo queste due forze l'una costante e l'altra variabile, ne risulta un piccol ramo di curva. Giunto poi il raggio al punto in cui perde tutta la sua velocità normale, è respinto dalla forza ripulsiva la di cui azione scema a misura che il raggio s'allontana. Quindi si genera un secondo ramo di curva simile ed eguale al primo, talchè il raggio incidente è tangente del primo ramo di curva ed il riflesso del secondo. Ed essendo sommamente piccoli questi due rami di curva, per operare la forza ripulsiva a distanze impercettibili dal piano, la curva risulta per noi insensibile e sembra riflettersi il raggio dopo di aver toccato il piano riflettente.

921. Quanto più dunque le superficie de' corpi sono lisce e pulite, tanto più facilmente la luce su di esse si riflette; poichè tolti i punti e le asprezze che sono in piani diversi ed in varii sensi rivolte, non più si contrastano le forze ripulsive da quelle derivanti, e co-spirando operano tutte colla stessa energia. La celerità normale poi della luce contro le superficie diminuisce in ragione dell' obbliquità del raggio incidente, onde la copia della luce riflessa è relativa non solo al pulimento della superficie riflettente, ma anche all' obbliquità del raggio medesimo.

922. Provando le particelle della luce nelle loro fisiche proprietà delle periodiche variazioni, che le rendono ora attraibili ed ora riflessibili, non tutte quelle che compongono un raggio lucido possono egualmente sentire l' azione della forza impulsiva; onde quelle che possono essere attratte penetrano nel corpo e si rifran-

gono, mentre quelle che possono essere repulse si riflettono. Può quindi dirsi in generale che la rifrazione e riflessione s' influiscono scambievolmente.

923. Questa spiegazione della riflessione della luce si adatta molto bene non solo al caso, in cui questa attraversando l'aria s' imbatte in un corpo opaco, ma anche a quello in cui la luce passa dall'aria in un mezzo di questa più denso. Poichè sebbene nell'aria sia meno energica la ripulsione, pure nel mezzo più denso è più forte l'attrazione; e le due forze di attrazione nell'uno, e di repulsione nell'altra, cospirano insieme a ritardare a poco a poco la celerità della luce nel cadere, e ad aumentarla successivamente nel rimbalzare; d' onde la genesi dei due rami similmente posti di una curva.

924. I fenomeni della riflessione che costituiscono l'oggetto della *Catottrica* debbono essere variamente modificati secondo le superficie riflettenti. Si è detto che una superficie scabrosa ed irregolare riflette la luce irregolarmente ed in varie direzioni, onde i raggi lucidi partendone sparpagliati non possono riunirsi. Ma se la superficie è levigata, uniforme e molto pulita, la riflessione della luce è ordinata ed i raggi ordinatamente riflessi riunendosi recano l'immagine del corpo opaco che li riflette e del corpo luminoso da cui derivano; e queste immagini sono talora invariate ed altre volte variate secondo le circostanze. I corpi di superficie tanto regolare che possono rappresentare le immagini degli oggetti che gli illuminano diconsi *specchi*, e tra le molte specie che ve ne sono, tre particolarmente se ne distinguono secondo la forma, e sono i piani, i concavi, ed i convessi.

ARTICOLO I.

DEGLI SPECCHI PIANI.

925. Cadendo sullo specchio piano AB (Tav. 11 fig. 4) i raggi paralleli Sa , $S'b$, ed essendo intersecati da AB, l'angolo esterno SaA eguaglia l'angolo interno ed opposto $S'bA$; e dovendo essi nel rimbalzo fare gli angoli d'incidenza eguali a quelli di riflessione (§. 917), saranno gli angoli $RaB = SaA$, ed $R'bB = S'bA$, onde gli angoli eguali RaB ed $R'bB$. Eguagliando dunque l'esterno $R'bB$ l'interno ed opposto RaB , i due raggi riflessi aR e bR' sono fra loro paralleli al pari de' raggi incidenti Sa , $S'b$. Cadendo all'opposto divergenti sullo specchio AB i raggi Sa , Sb (Tav. 11 fig. 5), formeranno gli angoli incidenti SaA , SbA rispettivamente eguali a quelli di riflessione RaB , $R'bB$; ma nel triangolo aSb , il cui lato ab è prolungato verso A , per l'angolo esterno SaA maggiore dell'interno ed opposto SbA , sarà anche l'angolo RaB maggiore di $R'bB$; ed aggiunto ad essi di comune l'angolo $R'ba$, sarà $RaB + R'ba$ maggiore di $R'bB + R'ba$. Ma $R'bB$ ed $R'ba$ eguagliano due retti , perchè conseguenti ; dunque la somma di RaB ed $R'ba$ sarà maggiore di due retti ; onde i raggi riflessi aR , bR' non saranno paralleli, ma divergenti dalla parte di R ed R' . I raggi divergenti riflettono dunque sullo specchio piano collo stesso grado di divergenza, e formando ognun di essi l'angolo di riflessione eguale a quello d'incidenza, la più piccola base del cono troncato riflesso

Ra bR' si confonde colla base del cono incidente aSb ; ossia rifletteranno i raggi come se irraggiati dal punto S' avessero proseguito in linea retta il loro cammino trapassando liberamente lo specchio AB . Si dimostra egualmente che cadendo sullo specchio AB i raggi convergenti Ra , $R'b$, si riflettono collo stesso grado di convergenza, e riflessi si riuniscono in S , talchè la base ab del cono riflesso aSb si confonde colla più piccola base del cono troncato incidente, ossia il cono riflesso aSb eguaglia in tutto il cono $aS'b$ che avrebbe avuto luogo se i raggi incidenti invece di riflettersi fossero liberamente trapassati per lo specchio AB . Può quindi conchiudersi che gli specchi piani riflettono solo i raggi incidenti senza alterarne la disposizione, talchè dopo la riflessione serbano lo stesso parallclismo o la stessa divergenza o convergenza che aveano prima di cadere sullo specchio.

926. Tirandosi dal punto raggiante S (Tav. 11 fig. 5) la perpendicolare SA sullo specchio AB , e prolungandosi sino ad S' , punto in cui prolungati si unirebbero i raggi riflessi aR , bR' sarà la perpendicolare SAS' il così detto *cateto d'incidenza*. S'intende così il principio con cui gli antichi spiegavano le proprietà degli specchi; sostenendo eglino dipingersi l'immagine dietro di questi nel concorso appunto del cateto d'incidenza col prolungamento dei raggi riflessi, ossia in S' . BARROW però non potendo comprendere come una linea immaginaria, qual'è il cateto d'incidenza, produca un effetto fisico e determini il luogo dell'immagine, sostiene che ogni punto dell'oggetto veduto per riflessione apparisce nel concorso, ossia nel vertice della piramide

dei raggi che penetrano nell'occhio. Derivano forse queste discrepanze dai giudizi che han luogo nella determinazione del luogo apparente dell'immagie e che sono incalcolabili. Che che ne sia però, per mezzo del principio degli antichi o di quello di BARROW, facile ragione rendesi di tutti i fenomeni degli specchi.

927. Posto dunque il punto raggiante S (Tav. 44 fig. 5) secondo il principio degli antichi Fisici si dee vederlo nel luogo apparente S' dietro lo specchio, nella direzione cioè del prolungamento del raggio aR incidente nell'occhio. Formati così due triangoli SaA ed AaS'; essendo l'angolo di riflessione RaB eguale a quello d'incidenza SaA, ed eguali ancora gli angoli alterni ed opposti RaB, AaS', sarà $SaA = AaS'$; ed essendo inoltre SAS', il cateto d'incidenza, i due angoli SAa, aAS' risultano per costruzione eguali perchè retti, e pel lato Aa comune, i due triangoli SaA, AaS' risultano eguali fra loro, onde $SA = AS'$, ed il luogo apparente S' tanto distante dallo specchio AB di quanto ne dista l'oggetto irraggiante S.

928. Ciochè si è detto del punto S vale per tutti gli altri ad esso contigui, onde le immagini di tutti riuniti formano quella dell'oggetto. Ben s'intende non esser reale, ma immaginaria l'immagine che si scorge dietro lo specchio, non riunendosi realmente in S' i raggi riflessi, ma valutandosi per abitudine come se realmente vi si riunissero al di là dello specchio, ossia come se ci pervenissero direttamente da S'. Misurando poi l'oggetto CD (Tav. 44 fig. 6) e l'immagine C'D' la distanza delle due parallele CC', DD', debbono essere egualmente lunghi; cioè l'immagine che si forma dietro

lo specchio ha le stesse dimensioni dell'oggetto. E giungendo all'occhio O senza incrociarsi le piramidi dallo specchio riflesse, l'immagine $C'D'$ deve scorgersi dritta come l'oggetto CD , ossia tutti i punti di quella e di questo debbono essere in perfetta corrispondenza.

929. Situato innanzi allo specchio AB (Tav. 41 fig. 7) comunque inclinato l'oggetto CDE , la sua immagine $C'D'E'$ avrà dietro lo specchio la stessa inclinazione di esso. Poichè tirato il cateto d'incidenza EE' , i triangoli $C'E'F$, CEF saranno fra di loro eguali (§. 928), ed il punto E' sarà tanto lontano dallo specchio AB , ossia da F , quanto dallo stesso dista il punto E . Tirando egualmente da D a D' il cateto DD' , si dimostra pure che questi due punti sono dallo specchio equidistanti, e così per tutti gli altri punti dell'immagine dell'oggetto. Se dunque le rispettive distanze dei singoli punti dell'oggetto e della sua immagine sono egualmente e similmente poste riguardo allo specchio, si l'uno che l'altra sono egualmente inclinati rispetto a questo.

930. Segue da ciò: 1.^o che essendo lo specchio AB (Tav. 41 fig. 7) inclinato sull'orizzonte per 45° , ed essendo l'oggetto CDE orizzontale; la sua immagine $C'D'E'$ deve vedersi verticale; perchè essendo FCE di 45° anche di 45° debb'essere $E'CF$, onde l'immagine distar deve dall'oggetto di 90° . Serbando egualmente lo specchio la stessa inclinazione di 45° , e standogli innanzi verticale l'oggetto $C'D'E'$, l'immagine CDE dovrà vedersi in situazione orizzontale. 2.^a Dovendo ogni punto di un'immagine comparire al di là dello specchio equidistante da ogni punto corrispondente dell'oggetto

situato innanzi allo specchio, in uno specchio orizzontale gli oggetti diritti debbono vedersi rovesciati. Se infatti AB (Tav. 11 fig. 8) è lo specchio orizzontale ed ACD l'oggetto verticale, la sua immagine AC'D' dev'essere rovesciata; poichè il punto C dell'oggetto più prossimo allo specchio deve corrispondere al punto C' dell'immagine, che debb'essere egualmente più vicina allo specchio; ed il punto D più lontano da AB corrispondere deve a D' punto più lontano dell'immagine. Gli alberi infatti e le capanne siti lungo la riva d'un fiume compariscono colle loro immagini inverse sott'acqua.

3.° L'immagine comparir deve tanto inclinata verso lo specchio di quanto lo è l'oggetto, ma in senso opposto; poichè dovendo i punti C, D, E (Tav. 11 fig. 7) corrispondere ai punti C', D', E' dell'immagine dietro lo specchio e dirimpetto all'oggetto; se C è alla sinistra, C' sarà di rincontro alla destra, e così d'ogni altro punto. Facilmente quindi s'intende la ripetizione di tutti i gesti d'un uomo situato avanti ad uno specchio eseguita in senso contrario dalla sua immagine, onde quando vuolsi eseguire avanti ad uno specchio certi moti per vederli, vi è d'uopo di un certo esercizio per non essere ingannato da questa imitazione.

931. Situato innanzi allo specchio AB (Tav. 11 fig. 7) e parallelamente ad esso l'oggetto CD; gli estremi con luminosi ACE, BDF riflessi formeranno nell'occhio l'angolo ottico EOF pei raggi EO, FO rimbalzati dai punti d'incidenza E ed F. Il vertice di quest'angolo è comune ai due triangoli simili C'OD', EOF, le di cui basi sono l'immagine C'D' e la parte EF dello specchio; ma le basi dei due triangoli sono come i lati; sarà dunque

$C'D':EF:: C'O : EO$; ma $C'O$ è doppio di EO (§. 927); sarà dunque EF la metà di $C'D'$; e niun oggetto potrà interamente vedersi in uno specchio ad esso parallelo , se questo non ha almeno la metà delle sue dimensioni.

932. Movendosi poi un oggetto innanzi allo specchio coll'avanzare verso di esso o retrocedere, scorre l'immagine altrettanto spazio dietro lo specchio. Ma se questo si allontana dall'oggetto od a questo si avvicina, percorrer deve l'immagine uno spazio doppio. Ritirandosi, per esempio , lo specchio di un piede dall' oggetto , se l'immagine non retrocedesse che di eguale quantità , la sua distanza dallo specchio sarebbe anche la stessa, ne distarebbe cioè l' immagine di un piede, e di due piedi l' oggetto; l' immagine deve dunque scorrere due piedi perchè esista sempre un' eguale distanza da ambe le parti.

933. Se due specchi piani formano angolo, l'occhio fra essi situato vede un oggetto molte volte ripetuto. Situando infatti tra i due specchi AB, BC (Tav. 11 fig. 9), fra loro inclinati in modo da fare un qualunque angolo ABC , un oggetto in D e l'occhio dello spettatore in O ; e tirando da D in a il cateto d'incidenza (§. 926.), in modo che s'incontri con Oca , vedrà l'occhio la prima immagine di D in a ; poichè rimbalzando in c il raggio incidente Dc formerà l' angolo d' incidenza eguale a quello di riflessione, e l' immagine vedrassi ove il prolungamento del raggio riflesso cO concorre col cateto d' incidenza Da . Tirando da a il cateto ab in modo da essere ad eguale a db , l'occhio sito in O vedrà una seconda immagine in b , concorrendo in questo punto ab ed Ob . Tirato egualmente il cateto bf , vedrà l'occhio in f

gini che si veggono più lontane debbono in proporzione comparir più deboli e meno vive (1).

934. Trovandosi poi l'oggetto fra due specchi paralleli, il numero delle immagini dev'essere indefinito. Poichè ripetendosi infinite perpendicolari sugli specchi reciprocamente l'uno verso l'altro, si vedrà un numero indefinito d'immagini poste successivamente ed a diverse distanze dietro gli specchi, la di cui chiarezza va di mano in mano menomando, e che cessano di riprodursi quando la luce per i successivi rimbalzi s'indebolisce in modo da rendersi inefficace. Quindi l'effetto magico delle sale le di cui opposte pareti sono tutte coperte di

(1) Su questa proprietà è costruito il *Caleidoscopio* di BREWSTON. Costa esso di un tubo cilindrico di cartone o di metallo, nel quale sono situato in tutta la sua lunghezza ad angolo due lamine di cristallo stagnato od annerite; ad un estremo fra due lamine di cristallo tra loro distanti di una o più linee sono rinchiusi de'pezzetti di varia natura, forma e colore; la lamina esterna è pulita collo smeriglio; ed all'estremità opposta del tubo vi è un coverchio forato nel mezzo per adattarvi l'occhio. Ad un lieve movimento del tubo i frammenti rinchiusi tra i due cristalli cangiano di posizione e compariscono fra i due specchi in ordine simmetrico ed in modo da presentarvi all'occhio figure ed ornamenti sempre variati, spesso bizzarri e curiosissimi, e moltiplicati in ordine simmetrico per le replicate riflessioni degli specchi medesimi. Questo strumento considerato come un passatempo e trastullo de' giovinetti è stato dal nostro PAOLO ANANIA DE LUCA alle belle arti ed all'industria destinato, come si rileva da due sue Memorie l'una inserita nel volume 14, anno 5° del *Progresso*, e l'altra letta nella R. Accademia delle Scienze, e pubblicata nel *Rendiconto* della stessa num. 3 del 1842.

specchi, attesa l'illuminazione con questo mezzo sommanente moltiplicata.

935. Se S è un punto luminoso (Tav. 11 fig. 10) ed ABCD uno specchio di cristallo, la di cui superficie inferiore abbia uno strato CD di amalgama ; la maggior parte de' raggi lanciati da S penetreranno sino ad E ove si rifletteranno verso l'occhio O , che pel loro mezzo vedrà in S' una forte e viva immagine ; ma altri raggi come SF , invece di attraversare la massa cristallina si rifletteranno alla superficie , e giungendo nell'occhio nella direzione FO faranno vedere in S'' un'altra immagine più debole della prima. Si scorgeranno queste immagini in luoghi distinti, dovendo esser al di dietro tanto lontane dalla superficie riflettente, di quanto lo è il corpo raggianti dalla parte anteriore; dovendo cioè essere $CS' = SC$, ed $AS'' = SA$. Uno specchio di cristallo ci offre quindi ordinariamente due immagini, l'una anteriore e più debole , l'altra posteriore e più viva e precisa ; e quando la spessezza del cristallo è molto notevole, possono talora osservarsi più di due immagini. Perciò gli specchi metallici si preferiscono a quei di cristallo, poichè non avendo i primi che una sola superficie riflettente non possono moltiplicare le immagini.

ARTICOLO II.

DEGLI SPECCHI CONCAVI.

936. Potendosi ogni superficie curva considerare composta d'un infinito numero di superficie piane som-

mamente piccole fra loro riunite ad angoli ottusi; e rimbalzando la luce dalle superficie piane in modo da formare l'angolo di riflessione eguale a quello d'incidenza (§. 917); non può valere per le superficie curve che la stessa legge. Potendo esse variamente conformarsi non si terrà conto che delle sferiche, per non essere le altre di alcun uso a causa della loro difficile costruzione.

937. Cadano sullo specchio concavo ABC (Tav. 41 fig. 13) tre raggi paralleli DA, EB, FC, come quei del sole, che per la gran distanza dalla loro origine avendo perduto quasi tutta la loro divergenza, si reputano cadere paralleli sullo specchio; sia G il centro di questo concavo, cioè della sfera di cui è desso un segmento; e B il vertice dello specchio, ossia il punto della sua superficie, che incontra l'asse EB della sfera di cui è parte. Il raggio EB, detto *primario*, perchè passa pel centro G, come perpendicolare rimbalzerà per BE (§. 916); e tirando dal centro G le rette GA, GC, che come raggi della sfera sono perpendicolari alle infinitesimali superficie piane rappresentanti i punti d'incidenza A, C, dei due raggi DA, FC, l'angolo d'incidenza del primo sarà GAD e quello del secondo sarà GCF. La conoscenza di questi angoli determina la direzione de' raggi nella riflessione, dovendo il raggio DA rimbalzare per AI onde fare l'angolo di riflessione GAI eguale a quello d'incidenza GAD; ed il raggio FC deve egualmente riflettersi per CI onde produrre l'angolo GCI eguale a GCF. Per la concavità dunque della superficie ABC i raggi paralleli DA, FC si riflettono convergenti riunendosi innanzi allo specchio in I; e po-

tendosi dimostrare lo stesso per tutti gli altri raggi, che al pari dei precedenti vi cadono paralleli, si può concludere che gli specchi concavi rendono convergenti i raggi paralleli.

938. Cadendo poi sullo specchio concavo ABC (Tav. 41 fig. 11) i raggi divergenti IA, IB, IC, il raggio perpendicolare IB rimbalzerà per BE, e gli altri due si rifletteranno il primo per AD, l'ultimo per CF, ossia paralleli. Potendosi per la stessa ragione i raggi divergenti rendere dopo la riflessione convergenti può inferirsi che se sopra uno specchio concavo sferico cadono i raggi luminosi paralleli, ne sono riflessi convergenti; se tali, si riflettono più convergenti; e se divergenti si riflettono meno divergenti, paralleli o convergenti. Perciò gli specchi concavi, detti *specchi di convergenza*, sono impiegati per illuminare le strade e scagliare dai fari a distanze molto notabili i raggi luminosi derivanti da un lume innanzi di essi situato. Rendendo essi paralleli i raggi che partono divergenti, ne accrescono gli effetti.

939. Or il punto I (Tav. 41 fig. 11) in cui si riuniscono i raggi riflessi, dicesi *foco*, e la sua distanza BI *distanza focale*. Essendo questa distanza costante quando i raggi s'imbattono paralleli, dicesi questo *foco principale*, o *foco de' raggi paralleli*; onde per foco di uno specchio concavo s'intende sempre la distanza focale de' raggi paralleli. Per conoscerne il sito si ragiona nel seguente modo. Cadendo sullo specchio concavo ABC i raggi paralleli DA, EB, FC; nel rimbalzo per la legge di riflessione si riuniscono nel foco I (§. 937). Or essendo EB, FC paralleli, gli angoli alterni GCF, CGB so-

no eguali fra loro ; ma l'angolo $ICG = GCF$, perchè l'uno d'incidenza, di riflessione l'altro ; sarà dunque l'angolo $ICG = IGC$, ed il triangolo GIC isoseele, onde i due lati IC , IG fra loro eguali ; ma $IC = IB$, considerandosi l'arco BC come infinitamente piccolo; sarà dunque $BI = IG$, e quindi IB metà di BG ; onde i raggi paralleli in uno specchio concavo sferico formano il foco nella metà del raggio, ossia nella quarta parte del diametro della sfera di cui esso specchio rappresenta un segmento.

940. È applicabile sino ad un certo punto questo risultato ad un sottil cono di raggi incidenti , come FA , FB (Tav. 11 fig. 12), derivanti da un punto F molto superiore al centro C , e diretti in modo che formando fra loro angoli piccolissimi siano quasi paralleli. In tal caso i raggi riflessi Af , Bf , e tutti gli altri che fan parte del cono, concorrono pure molto sensibilmente in f su di un piccolo spazio, che può riguardarsi egualmente come una specie di foco, la di cui situazione variar deve col punto raggiante F . Supponendo infatti che il cono luminoso parta dal punto f , si rinniranno i raggi riflessi nel punto F , che sarà il foco riguardo ad f , considerato come punto di partenza. Quando questo punto raggiante è precisamente nel foco I dello specchio (Tav. 11 fig. 11), i raggi sortendone paralleli non potranno mai riunirsi, e quindi in tal caso non vi sarà foco. Quando infine il punto raggiante D (Tav. 11 fig. 13) è tra il foco I ed il vertice B dello specchio , per la massima divergenza de' raggi incidenti DA , DC , i raggi riflessi AE , CG , benchè riuniti dallo specchio, n'escono divergenti. Ed avvezzi a vedere ogni punto nel prolungamento di

una retta, ed ove riunisconsi i raggi componenti la piramide lucida che penetra nell' occhio; li rapportiamo nel punto F ove supponiamo riuniti i prolungamenti dei raggi riflessi divergenti. Questo punto posteriore allo specchio, non reale, ma fittizio ed immaginario, dicesi *foco ideale, negativo, od immaginario*, per distinguerlo da quello, ove realmente riunisconsi i raggi riflessi, detto perciò *foco reale*.

944. Per la determinazione del foco delle superficie concave sferiche essendosi supposto cadere i raggi incidenti quasi contigui al vertice dello specchio, si è inferito l'incontro de' raggi riflessi in un sol punto, e se ne è dedotta la distanza radiale di questo. Ma quando i raggi sono molti come realmente avviene, non potendo cader tutti nel vertice della superficie concava, s' imbattono in un punto più o meno da questo lontano; e riflettendosi non potranno riunirsi in un solo punto, ma si avranno più punti d'incontro, e quasi più fochi. I raggi riflessi dai punti contigui al vertice della superficie concava si riuniscono in un punto, variando così pure l'inclinazione de' piccoli archetti vicini all' asse, da potersi questa variazione trascurare. Supposta quindi insensibile la differenza dell'inclinazione dell' archetto corrispondente all' asse, da quella degli archetti ad esso contigui; i raggi incidenti prossimi all' asse render debbono gli angoli d'incidenza e di riflessione pressochè eguali, e quindi insensibilmente riunirsi in un sol punto. Non può aver luogo lo stesso pei raggi lontani dall' asse; poichè rilevandosi la curva concava tanto più quanto più da esso s' allontana, i piccoli archetti dallo stesso lontani saranno tanto più inclinati quanto

più distano dal medesimo asse. Cadendo quindi su questi piani variamente inclinati i raggi dall' asse lontani, vi cadranno sotto varie incidenze, e variamente riflettendosi non potranno riunirsi in un sol punto. A questa deviazione de' raggi riflessi il nome dassi di *abberrazione di sfericità*, dipendendo dalla sfericità della superficie concava. Ciò non ostante, i raggi prossimi all' asse, benchè a rigore non si concentrino precisamente nel foco, si riuniscono però in uno spazio intorno ad esso così piccolo da riguardarsi come un punto. Perciò i raggi riflessi da uno specchio concavo formano nel loro foco un cerchietto luminoso.

942. Non riunendosi in un sol foco i raggi riflessi da una superficie concava, i raggi riflessi contigui debbono tagliarsi fra di loro. Così i raggi paralleli aB , bg , ch , di , ek , fl (Tav. 11 fig. 14) incontrando sotto varie incidenze le superficie riflettenti B , g , h , debbono esserne variamente riflessi; onde non potendo tutti riunirsi nel centro m , il raggio riflesso hn taglierà l' altro gm nel punto n ; il raggio io taglierà in o il raggio hn ; kp taglierà in p il raggio io ; ed il raggio lg taglierà in g il raggio kp , in modo che tra il punto n , d' intersezione del raggio riflesso hn ed il punto m si frapperà una parte del raggio riflesso gm , e così per tutti gli altri. Or nella ripetizione di questa grafica costruzione per un numero indefinito di raggi, tagliando ogni raggio riflesso il suo contiguo, ne risultano tante parti di raggi riflessi fra due contigue intersezioni, da formare i lati di un poligono; ed essendo i raggi riflessi indefiniti, dai lati del poligono infinitamente piccoli risulta la curva $mnpqr$, detta *caustica per riflessione*. Applicandosi al

lato BC ciocchè si è detto pel lato AB della superficie concava, due caustiche mr ed ms eguali e simili produconsi da ambe le parti dell'asse Ba , che si tagliano in m , cioè nel foco de' raggi paralleli. È chiaro che potendo i raggi incidenti cadere in varii modi sullo specchio ABC, e formar quindi il loro foco più o meno lungi da m (§. 940), varia pure il sito della formazione delle caustiche, costituendosi ora più ed ora meno lungi da m .

943. Esposte le modificazioni de' raggi luminosi che s'imbattono nelle superficie concave, è facile conoscere i fenomeni visuali prodotti dagli specchi concavi. Rammentando primieramente di vedersi ogni punto di un oggetto e riferirsi al foco reale od immaginario de' raggi costituenti la piramide luminosa procedente da esso punto (§. 904-926-940) allo stesso ed a quella distanza dallo specchio, anteriore o posteriore, si riferisce l'immagine del punto, in cui si forma il foco. E formandosi questo a varia distanza dallo specchio secondocchè varia quella del punto raggiante, ossia dell'oggetto (§. 940); la distanza dell'immagine dallo specchio variar deve colla distanza dell'oggetto da questo. E movendosi secondo il foco le caustiche (§. 942), onde alla distanza dell'oggetto sono riferibili le sue immagini, le caustiche ed il foco; allo stesso luogo rapportar debbonsi foco, caustiche ed immagini.

944. È facile quindi l'intendere le cause delle varie apparenze che gli specchi concavi presentano. Collocandosi innanzi allo specchio concavo AB (Tav. 12 fig. 4) l'oggetto CD in un qualunque punto intermedio tra il foco de' raggi paralleli ed il vertice dello specchio, la sua immagine si vedrà dietro di questo, dritta, più

grande e più lontana dell'oggetto d'innanzi. Anzi trasportandosi successivamente l'oggetto dal vertice sino al foco de' raggi paralleli, l'immagine sempre più si allontanerà dietro lo specchio, ed a misura dell'allontanamento crescerà la sua grandezza. Dovendo infatti l'occhio vedere il punto C dell'oggetto nel concorso del cateto d'incidenza EF, e dei raggi riflessi IO, HO, ed il punto D nel concorso del cateto EG e dei raggi riflessi KO, LO (§. 926); il punto superiore C dell'oggetto si vedrà nel luogo più elevato F, e l'inferiore D nel più basso G. Deve poi l'immagine comparire più grande dell'oggetto per la proprietà degli specchi concavi di rendere convergenti i raggi che su di essi comunque pervengono (§. 938), onde i raggi riflessi IO, HO' . . . debbono meno divergere degli incidenti CI, CH . . . , e per la diminuita divergenza prolungati verso F e G ad una distanza riunir debbonsi maggiore di quella a cui si sarebbero congiunti se serbata avessero la naturale loro divergenza. Risultando quindi FI maggiore di IC, KG maggiore di KD, cc. . . , comparirà l'immagine dietro allo specchio a distanza maggiore di quella in cui è situato l'oggetto innanzi di esso. Convergenndo inoltre lo specchio verso l'occhio, i raggi che partono dagli estremi dell'oggetto, formano essi dopo la riflessione un angolo ottico maggiore di quello che farebbero se andassero direttamente a colpire l'occhio; e sottendendo l'angolo ottico la grandezza dell'immagine (§. 905), comparirà questa non solo più lontana dietro lo specchio, ma più grande ancora dell'oggetto.

945. Se poi l'oggetto DE (Tav. 41 fig. 45) è tra

il foco dei raggi paralleli I ed il centro H dello specchio ABC la sua reale immagine FG si vedrà avanti allo specchio rovesciata, più lontana dell'oggetto, e più grande di questo. Essendosi dimostrato che il foco prodotto dai raggi derivanti da un punto sito tra il foco principale ed il centro dello specchio è reale ed al di là di questo centro (§. 942); l'immagine dell'oggetto dev'essere reale, e quindi anteriore allo specchio e più lontana del centro di questo. Dovendo infatti ogni raggio del cono lucido ADC , che parte dal punto D dell'oggetto, formare l'angolo di riflessione uguale a quello d'incidenza; ripercossi si riuniranno tutti nel punto C per produrvi l'immagine del punto D . I raggi egualmente che compongono il cono luminoso irraggiato dal punto E , riconcentrati dalla riflessione nel punto F , ivi ne dipingeranno l'immagine; e ripetendosi lo stesso per ogni altro punto a questi intermedio, è chiaro che si produrrà l'immagine più grande dell'oggetto, in un sito al di là del centro H dello specchio, e per l'intersezione de' raggi anche rovesciata.

946. Allontanandosi però l'oggetto DE dallo specchio ABC (Tav. 44 fig. 45), l'immagine FG avvicinar si deve allo specchio; perchè i raggi DA , DB , DC cadendo in tal caso men divergenti si riuniscono in un punto più prossimo di G . E poichè a misura che tali raggi si raccolgono più in giù de' punti F e G , la distanza FG , che determina il diametro dell'immagine, diminuisce; allontanandosi l'oggetto dallo specchio, mentre se ne avvicina a questo l'immagine, le sue dimensioni progressivamente decrescono. Or se allontanandosi

DE dallo specchio, FG vi si avvicina; s' intende di leg-
gieri che quando l' oggetto è in H, cioè nel centro dello
specchio, si produce l' immagine nello stesso luogo e si
confonde coll' oggetto. Trasportandosi in fine l' oggetto
al di là del centro H dello specchio, cioè supposto FG
l' oggetto, DE ne sarà la immagine, che per le esposte
ragioni dovrà vedersi innanzi allo specchio, reale, capo-
volta, più dell' oggetto vicina allo specchio, e dell' og-
getto stesso più piccola.

947. Riepilogando dunque tutte le apparenze a cui
dan luogo gli specchi concavi sferici, può generalmente
stabilirsi che presenta l' immagine diversi fenomeni se-
condo la distanza dell' oggetto dallo specchio. Quando
questo vada dalla superficie al foco dello specchio si os-
serva l' immagine dritta ed immaginaria, sempre più
lontana dell' oggetto, e procede indefinitamente dalla
superficie dello specchio dietro di questo. Quando si
porta l' oggetto dal foco al centro di concavità dello
specchio si dipinge l' immagine reale, d' innanzi allo
specchio rovesciata e più lontana dell' oggetto, e dal-
l' infinito da cui procede si muove sino al centro di con-
cavità, impicciolendosi a misura che a questo si avvi-
cina. Quando infine è sito l' oggetto al di là del centro di
concavità, si dipinge l' immagine innanzi allo specchio
rovesciata, reale, più piccola e più vicina dell' oggetto,
e dal centro di concavità muove sino al foco principale
dello specchio.

948. Oltre di queste proprietà gli specchi concavi ne
hanno un' altra di non minore interesse, quella cioè di
produrre la combustione. Senza ripetere le pruove di
questa proprietà altrove riferite (§. 822), basta dire

che esposto ai raggi diretti del sole un concavo specchio metallico , e messo nel suo foco principale un carbone od altro oggetto combustibile, entra questo bentosto in ignizione. Cadendo i raggi solari paralleli sullo specchio si concentrano nel suo foco principale (§. 937), ed intorno ad esso (§. 941); riuniti così in un cerchietto tutt' i raggi calorifici ai luminosi congiunti acquistano per la riunione tanta efficacia che atti si rendono non solo a riscaldare ed eccitare la fiamma, ma a liquefare ancora i metalli e le sostanze più refrattarie. È per ciò che gli specchi concavi di vetro e precisamente quelli di metallo diconsi *specchi ustorii* , *ardenti* o *caustici*. Sono rinomati lo specchio ustorio di GEROUSSÉ di S. Ciro, che bruciava a cinque piedi di distanza , e l' altro di ISCHIRNHAUSEN, il di cui foco era di dodici piedi.

949. Or esistendo la distanza focale di uno specchio concavo alla metà del suo raggio (§. 939), è impossibile il bruciare con uno specchio ustorio un corpo da esso molto lontano, attesa l' impossibile costruzione di uno specchio di sì smisurata grandezza da corrispondere alla distanza radiale. Si è quindi pensato di sostituire ad uno specchio più specchi piani tra loro congiunti ed in modo inclinati da riflettere tutti i raggi in un solo punto , potendo gli specchi piani riflettere i raggi ad una distanza qualunque. Di tale artificio , secondo ANTHEMIO , TZEZE e ZONARA , si avvalse ARCHIMEDE per bruciare la flotta con cui MARCELLO bloccava Siracusa, poichè essendo le navi lungi dal lido di un tiro di balestra , non potea certamente costringere il gran Geometra uno specchio di tale grandezza da avere per metà del

uno raggio la distanza della flotta Romana (1). Dello stesso mezzo dovette anche avvalersi PROCLUSO per incendiare quella con cui VITALIANO assediava Bizanzio. Colla scorta di TZEZE e di ZONARA il P. KIRCHER costruì il primo uno specchio concavo-poligono con cinque specchi piani eccitando con esso alla distanza di 100 piedi un calore insopportabile; e con un' altro di 400 specchi piani, di $\frac{1}{2}$ piede quadrato ognuno, giunse BURFON a fondere lo stagno alla distanza di 150 piedi ed il piombo a quella di 141 piedi.

A R T I C O L O III.

DEGLI SPECCHI CONVESSI.

950. Il fin qui detto per gli specchi sferici concavi non può che agevolare l'intelligenza di tutte le vicende dalla luce riflessa sulle superficie sferiche convesse. Sono esse affatto contrarie a quelle che han luogo per le superficie concave. Cadendo infatti sullo specchio sferico convesso ABC (Tav. 12 fig. 2) i raggi paralleli DI, EB, FL. . . , tirate le perpendicolari HK, HM, ai rispettivi punti d'incidenza I ed L, si hanno gli angoli d'incidenza quello cioè del raggio $DI=DIK$, e l'altro del raggio $FL=FLM$, onde il primo raggio si riflette per IN ed il secondo per LO per eguagliare ai rispettivi angoli d'incidenza gli angoli di riflessione KIN, MLO. Or se per la convessità perdendo questi due raggi il loro parallelismo rimbalzano per IN e per LO,

(1) MONTUCLA, *Storia delle Matematiche* tom. 1. — PEYRERD, traduzione delle *Opere di Archimede*, tom. 2.

verificato lo stesso per tutti gli altri raggi a questi paralleli, potrà conchiudersi che cadendo paralleli i raggi su di una superficie convessa, ne sono riflessi divergenti.

951. Ma se i raggi di luce invece di cadere paralleli sullo specchio AB (Tav. 12 fig. 3), come EG, DB, vi cadono divergenti come DB, DG, tirata la normale CF al punto d'incidenza G; l'angolo d'incidenza non sarà EGF come nel caso del parallelismo, ma DGF maggiore di EGF; onde il raggio nel riflettersi facendo l'angolo di riflessione FGI maggiore di FGH rimbalzerà per GI. Cadendo egualmente i raggi NI, OL (Tav. 12 fig. 2) convergenti sullo specchio, rimbalzar debbono per ID, IF. . . . ossia paralleli, perchè in tal caso i loro angoli di riflessione KID, MIF risultano eguali a quelli d'incidenza. E può dirsi in generale che gli specchi sferici convessi hanno la proprietà di divergere i raggi luminosi, onde se questi vi cadono paralleli sono riflessi divergenti; se vi cadono divergenti lo si rendono dippiù; e se vi cadono convergenti diventano paralleli o meno convergenti.

952. Rendendo gli specchi convessi divergenti i raggi che cadono su di essi, non possono questi sempre riunirsi e produrre innanzi allo specchio un foco reale; onde prolungati coll'immaginazione nella parte opposta sino al loro incontro vi producono un foco immaginario o virtuale. Essendo quindi apparente l'immagine dei corpi che per mezzo di questi specchi veggiamo, importa conoscere la distanza radiale, il punto cioè in cui i raggi ottici immaginariamente concorrono, per intendere la causa delle varie apparizioni che si producono.

Si considerano all' uopo eguali i raggi KB e KC (Tav. 42 fig. 3), perchè tra loro vicinissimi; ma si suppone $KB = KC$; dunque il triangolo CKG è isoscele, e l'angolo $KGC = KCG$. Ma l'angolo $KGC = FGH$ perchè al vertice; e per le due parallele DC, EG, intersecate dalla terza FGC l'angolo esterno DCG, ossia KCG eguaglia l'interno cd opposto EGF, dunque sarà anche l'angolo $FGE = FGH$; ma il primo è l'angolo d'incidenza, dunque il secondo lo sarà di riflessione; per cui il raggio riflesso GH incontra quello di sfericità BC nel punto K, ch'è nella metà dello stesso.

953. Cadendo poi divergenti i raggi sullo specchio, come DB, DG (Tav. 42 fig. 3), il raggio riflesso GI prolungato incontrerà il raggio di sfericità CB nel punto L superiore all'altro K. Ben quindi intendesi che quanto più il punto raggiante D si avvicina alla superficie dello specchio convesso, tanto più il foco immaginario si produce vicino al vertice B ed al contrario.

954. Facilmente quindi s'intende che le immagini degli oggetti guardati cogli specchi convessi comparir debbono dritte, più piccole degli oggetti, e più vicine dietro lo specchio che non sono gli oggetti innanzi al medesimo. Dovendosi vedere infatti il punto A dell'oggetto AB (Tav. 42 fig. 4), ove i raggi riflessi aO , bO' prolungati concorrono col cateto d'incidenza AE, ossia nel punto C, ed il punto B in D, ove cioè i raggi riflessi cO , dO' concorrono col cateto BE; il punto superiore A comparirà in C e l'inferiore B in D. Restringendosi poi progressivamente nel centro E lo spazio compreso tra i due cateti AE, BE, nel punto cioè della

loro unione, è chiaro che l'immagine ED , che in questo spazio dipingesi, dev'esser dritta, ma più piccola dell'oggetto AB . Un'altra causa di questa picciolezza è la seguente: le piramidi lucide aAb , cBd partite dagli estremi punti dell'oggetto cadendo convergenti sullo specchio convesso ne sono rimbalzati meno convergenti e producono un angolo minore di quello che avrebbero prodotto se fossero direttamente caduti nell'occhio. Rendendo infine gli specchi concavi divergenti i raggi che su di essi comunque pervengono (§. 954), i raggi riflessi aO , bO' . . . diverger debbono più degli incidenti Aa , Ab . . . , onde prolungati verso C e D per l'aumentata divergenza riunir si debbono ad una distanza minore di quella a cui si sarebbero congiunti se avessero conservato la loro naturale divergenza; e risultandone quindi CA minore di aA , Dc minore di cB , e così in appresso, comparirà l'immagine dietro lo specchio ad una distanza minore di quella in cui trovasi l'oggetto innanzi lo stesso.

955. Se dal punto luminoso D (Tav. 12 fig. 5) emanino i raggi DB , Da , Db , Dc , Dd sulla superficie dello specchio sferico ABC : prolungandosi dietro di essa i raggi riflessi aF , bG , cH , dI , sarà ciascuno di essi tagliato dal suo contiguo, e tali intersezioni in f , g , h , produrranno una curva detta *caustica*, situata dalla stessa parte dell'asse, e le di cui tangenti sono i raggi riflessi prolungati, ed un'altra se ne formerà dal lato opposto, in modo che si taglieranno entrambe nel punto E dell'asse. A misura dunque che il punto D si allontana dallo specchio, o ad esso si avvicina, si allontaneranno o avvicineranno le caustiche Ei , Ek ; poichè i

raggi incidenti che partono da D cadendo più o meno divergenti sullo specchio ne sono riflessi in proporzione con maggiore o minor divergenza, onde più presso o più lungi dietro lo specchio si vanno a frastagliare (§. 953). L'osservatore dunque che avesse l'occhio nel piano ABC vedrebbe l'immagine del punto raggianti in qualunque punto della caustica, in cui s'incontrerebbero due raggi riflessi prolungati. E sostituendosi al punto D un oggetto, l'immagine di questo dovrebbe parimente vedersi nella curvatura della caustica. Concentrandosi quindi l'immagine in questa curvatura non può comparire che impicciolita. Guardandosi perciò un oggetto per mezzo di uno specchio convesso, la sua immagine comparisce ristretta e raccorciata in tutte le sue dimensioni.

956. Per questa proprietà sono atti gli specchi convessi a rappresentare in piccolo una grande prospettiva, come quella di un vasto edificio, di una campagna e simili. La loro curvatura però non debbe esser molto notabile, perchè rappresenterebbero in tal caso arcuata e quindi difettosa l'immagine degli oggetti.

A R T I C O L O IV.

DEGLI SPECCHI COMPOSTI E MISTI.

957. Combinandosi insieme un gran numero di specchi piani inclinati gli uni sugl'altri in modo da formare una superficie sferica concava, si ha uno specchio poliedro, che moltiplica tante volte l'immagine dell'og-

getto che gli si pone d'innanzi per quante sono le superficie piane che lo compongono.

958. Si costruiscono anche per passatempo degli specchi cilindrici, conici, o di altra forma, detti *misti*, per essere dotati delle proprietà degli specchi piani e degli sferici. Si riguardano gli specchi cilindrici d'alto in basso e perpendicolarmente come la riunione di più piccoli specchi piani posti l'uno accanto all'altro, e nel senso della larghezza come l'insieme di tanti piccoli specchi convessi posti l'uno dopo l'altro. Risultando quindi lo specchio cilindrico da specchi piani e convessi, partecipa della natura di entrambi; e non alterando gli specchi piani le dimensioni delle immagini, che i convessi restringono ed abbreviano, l'immagine di un oggetto qualunque presentato ad uno specchio cilindrico comparirà tutta deformata, perchè regolare nel senso della lunghezza e raccorciata ed impiccolita in quello della larghezza.

959. Gli specchi conici sono anche piani per l'altezza, ma convessi per la larghezza, e tanto più lo sono quanto più si avvicina verso il vertice del cono. Perciò sono le immagini rappresentate nella loro altezza naturale, ma la larghezza continuamente scema dal basso in alto, onde compariscono in questi specchi più che nei cilindrici contraffatte.

960. Or se le immagini degli oggetti giustamente proporzionate sono rappresentate da questi specchi figurate e contraffatte, quelle degli oggetti deformi nelle proporzioni comparir debbono ben conformate, d'onde le così dette *Anamorfosi catottriche* (1). A tal uopo si

(1) JAC. LECPULD. *Anamorphosis mechanica nova*, Lipsiae 1714.

disegna su di una carta una figura irregolare, che mostruosa comparando agli occhi non se ne conosce l'oggetto rappresentato; situando poi nel centro del disegno lo specchio cilindrico o conico, secondochè la dipintura serve pel primo o pel secondo specchio, l'immagine del dipinto si vede regolare e ben disegnata (1).

CAPITOLO V.

DELLA REFRAZIONE SEMPLICE DELLA LUCE.

961. Distinti (§. 895) tutti i corpi riguardo alla luce in opachi, e diafani o trasparenti, si sono compresi nella prima classe quelli, che non permettendole il passaggio attraverso la loro materia la riflettono più o meno regolarmente, e nella seconda quelli che non le impediscono di attraversare la loro sostanza. Questi ultimi corpi diconsi *mezzi*. La luce a noi non perviene che a traverso di un mezzo, cioè dell'aria atmosferica. da cui può penetrare nei liquidi e nei solidi trasparenti. In questi successivi passaggi da un mezzo in un altro soffre la luce delle notabili alterazioni, specialmente nella direzione. Prendendo queste modificazioni il nome di *refrazione*, provan esse, che deviando la luce dalla retta direzione nel suo passaggio per varii mezzi è *refrangibile*.

(1) Il modo di disegnare simili figure può rilevarsi dalle opere di WOLFIO (*Elem. Math.* tom. 3 p. 156 e segu.), di SMIT (*Cours d'Opt.* tom. 2 p. 75), e di OZANAM (*Recreations Mathem. et Physiq.* tom. 1 p. 448).

962. Supposta ABCD (Tav. 12 fig. 6) una massa trasparente con facce opposte parallele, e più densa dell'atmosfera; dovrà questo mezzo esercitare certamente un' influenza sui raggi luminosi che l'attraversano. Se uno di questi EF cade normalmente sulla superficie del mezzo, lo attraverserà proseguendo a camminare nella sua primiera direzione FG senza deviare in verun modo. Se poi il raggio HF penetra obbliquamente nello stesso mezzo, giunto nel punto F cangerà direzione, ed in vece di proseguire il suo retto cammino per FI si dirigerà per FK avvicinandosi alla perpendicolare EG tirata dal punto F. Giunto nel punto K cambierà di nuovo direzione in senso contrario, allontanandosi dalla perpendicolare MN tirata pel punto K; ed essendo questa deviazione eguale alla precedente, percorrerà il raggio la direzione KL parallela alla sua primitiva FI.

963. Ora il punto F (Tav. 12 fig. 6), in cui il raggio s'immerge, dicesi *punto d'immersione*; quello K, da cui emerge, *punto di emergenza*; ed il raggio di luce FKL, che nel punto d'immersione devia dal suo cammino FI dicesi *raggio refratto*. Inoltre l'angolo HFE formato dal raggio incidente HF e dalla perpendicolare EG guidata dal punto d'immersione, dicesi *angolo d'incidenza*; quello fatto dal raggio refratto FK e dalla stessa perpendicolare EG, ossia KFG, chiamasi *angolo di refrazione*; e finalmente l'angolo KFI *angolo di deviazione* appellasi. Il piano in fine determinato dall'angolo d'incidenza dicesi *piano d'incidenza*; e *piano di refrazione* quello determinato dall'angolo di refrazione. Se quindi il raggio EF passando perpendicolarmente pel mezzo ABCD non ha sofferto alcuna deviazione ed ha

proseguito a camminare per FG; mentre attraversandolo nell'obliqua direzione HF si è avvicinato alla perpendicolare EG, ed emergendone si è allontanato dalla perpendicolare MN; può conchiudersi che quando la luce passa perpendicolarmente da un mezzo in un altro, qualunque sia il rapporto della loro densità non soffre alcuna refrazione; ma quando passa obliquamente da un mezzo raro in un'altro denso devia dalla sua direzione formando l'angolo di refrazione minore di quello d'incidenza; mentre se da un mezzo denso passa in altro raro l'angolo di refrazione risulta maggiore di quello d'incidenza.

964. È provata questa legge dal seguente esperimento di facile istituzione. Posto nel fondo d'un vase vuoto un piccol corpo, come per esempio una moneta A (Tav. 42 fig. 7), si allontani dal vase istesso l'occhio O finchè l'orlo DE intercettando la visuale AO impedisca di vedere il corpo. Tenendosi l'occhio fermo in questo punto mentre si versa dell'acqua nel vase, bentosto scorgerassi il corpo, poichè il raggio AB uscendo dall'acqua nell'aria invece di seguire la sua primitiva direzione per BG si allontanerà dalla perpendicolare CB deviando per BO, e così giungerà nell'occhio. E riferendosi gli oggetti al prolungamento del raggio incidente, rapporterà l'occhio il corpo A alla direzione del raggio BO in una distanza eguale ad $OB + BA$, ossia nel punto F.

965. Mentre questo esperimento prova la legge di refrazione in modo evidente, rende ragione di varii fenomeni da questa prodotti nel passaggio della luce per varii mezzi separati da superficie piane. Riferendosi il

corpo A al punto F (Tav. 12 fig. 7), non solo si crede esser questo nel luogo ove non è, ma sembra più prossimo di quello ch'è alla superficie di livello del liquido. Poggiando però esso sul fondo del vase, anche quello deve apparire più elevato. Perciò si crede la profondità delle acque marine o potabili sempre minore della reale. Un bastone in parte immerso nell'acqua sembra spezzato nel punto d'immersione, osservandosi l'immagine della parte immersa più elevata di quello che realmente è. Sia in fatti AB (Tav. 12 fig. 8) la superficie dell'acqua, CD il bastone, ed O la situazione dell'occhio. Fra tutti i raggi che il punto C considerato come raggiante tramanda verso la superficie AB, vi sarà uno come CF, che dopo d'essersi refratto nel punto F dirigendosi verso l'occhio gli farà vedere l'immagine del punto C in G; e ripetendosi lo stesso per tutti gli altri punti della parte immersa CE, sarà l'immagine di questa una linea GE, che farà comparire il bastone spezzato nel punto E. Or supponendo che il bastone rimasto fisso nell'estremo C sia nell'altro estremo alzato in modo da coincidere colla verticale CH, e che l'occhio resti tuttavia fisso in O; l'apparente grandezza della parte immersa sarà espressa in tal caso da HG, cioè sarà molto meno della grandezza reale HC. Può dunque conchiudersi che tutti gli oggetti immersi verticalmente nell'acqua sembrano sempre più corti di quello che realmente sono.

966. Al contrario se l'oggetto AB (Tav. 12 fig. 9) è situato parallelamente alla superficie CD del mezzo rifrangente, la sua lunghezza sembrerà in tal caso maggiore della naturale, cioè sarà espressa da *ab*; avendo

l'angolo visuale AOB , per mezzo del quale l'occhio posto in O scorgerebbe l'oggetto AB a nuda vista, i suoi lati compresi fra quelli dell'angolo EOF sotto il quale vede l'occhio lo stesso oggetto attraverso del mezzo rifrangente.

967. Quindi intendosi agevolmente, perchè il crepuscolo mattutino preceda la nascita del sole, mentre il vespertino comparisce dopo il suo tramonto; perchè nel mattino si vegga il sole sull'orizzonte pria di nascere, e nella sera comparisca ancora benchè già tramontato. Supposta T la terra (Tav. 42 fig. 10), a cui siano concentrici i varii strati atmosferici AB , CD di densità decrescente in ragione della loro elevazione; sia in O uno spettatore, il di cui orizzonte sia rappresentato dal piano tangente EF , al di sotto del quale si trovi il sole S . Il raggio SE passando dallo spazio nell'atmosfera soffre la prima refrazione, onde in vece di proseguire il suo retto cammino per EG si spezzerà e procederà per EI avvicinandosi alla normale ET tirata dal punto d'immersione. Passando poi il raggio EI nello strato atmosferico CD più denso del precedente non può proseguire per IH , ma deve procedere per IO , avvicinandosi alla normale IT , onde lo spettatore in O vedrà il sole nella direzione del raggio visuale IO prodotto in S' ; e benchè il sole non dovesse esser visibile, perchè al di sotto dell'orizzonte, pure comparirà al di sopra dello stesso. E non guardando in tal caso lo spettatore in S' il vero sole, ma la sua immagine formata da raggi indeboliti dalle sofferte refrazioni, non potrà esser questa tanto risplendente quanto lo è l'astro.

968. La quantità della refrazione o deviazione del

raggio luminoso nel suo passaggio da un mezzo in un altro, è espressa dal rapporto tra l'angolo d'incidenza e quello di refrazione. Essendo AB (Tav. 12 fig. 11) la superficie di un mezzo refrangente, CD un raggio ad essa obliquo, DI il prolungamento della sua direzione, e DE la direzione del raggio refratto; se dal punto di incidenza D si mena FG normale ad AB, sarà CDF l'angolo di incidenza e GDE quello di refrazione. Prolungata la direzione ED verso H, e descritto il semicerchio AFB col centro D, se dai punti C ed H si abbassano sulla FD le perpendicolari Cb, Ha, sarà HDF=GDE, la retta Cb sarà il seno dell'angolo di incidenza, ed Ha il seno di quello di refrazione. E misurandosi i due angoli CDF, HDF dai rispettivi archi CF, HF misurati dai corrispondenti seni Cb, Ha, si esprime la quantità della refrazione dai seni degli angoli d'incidenza e di refrazione; onde passando il raggio CD da un mezzo raro in un altro denso, l'angolo d'incidenza è a quello di refrazione :: Cb : Ha, mentre nel passaggio opposto sarebbe :: Ha : Cb.

969. Risultando dall'esperienze che non tutte le sostanze hanno lo stesso potere refrangente, che non tutte cioè fanno subire ai raggi luminosi, che le attraversano, la stessa deviazione, il valore dell'angolo di refrazione, ossia del seno Ha, differisce secondo le diverse sostanze sotto la stessa incidenza. Si aumenta esso inoltre per la stessa sostanza in ragione diretta dell'angolo d'incidenza, a misura cioè dell'obblività del raggio sulla superficie del mezzo refrangente. E ciocchè è più notabile si è che il rapporto del seno d'incidenza a quello di refrazione è sempre lo stesso per una sostanza, qualunque

sia il grado di obliquità, talchè se in una delle situazioni del raggio incidente il seno di refrazione è la metà di quello di incidenza, questo rapporto resterà costante in tutte le possibili posizioni dello stesso raggio incidente. Questa *le gge* dicesi comunemente *Cartesiana*, perchè scoperta da CARTESIO.

970. Essendosi molto affaticati i Fisici per valutare colla possibile precisione il rapporto di refrazione nei solidi diafani, nei liquidi e nei fluidi, dietro l'uso di metodi più o meno esatti han rilevato che, per esempio, il rapporto dei due seni nel passaggio della luce dall'aria nell'acqua è :: 4: 3; dall'aria nell'alcool :: 4, 1: 3; dall'aria nel vetro comune :: 3: 2; dall'aria nel flintglas :: 8: 5; e dal vetro nell'acqua :: 8: 9. Sono questi rapporti i così detti *indici di refrazione*. S'intende di leggieri di esistere essi ancora, benchè in ordine inverso, nel passaggio del raggio da un mezzo più denso in altro meno denso.

971. I risultati di simili ricerche con molta accuratezza istituite da BIOR ed ANAGO sono i seguenti: 1.° Di tutti i corpi gassosi l'ossigeno ha il minor potere refrattivo e l'idrogeno il maggiore: 2.° Di tutt'i corpi solidi, liquidi o fluidi l'ossigeno e l'idrogeno stanno ai due estremi *maximum* e *minimum* di potere refrangente, ad eccezione del fluato di calce, che lo ha più debole di quello del gas ossigeno. Gli olii dunque, le resine, l'alcoole ed altri simili combustibili debbono all'idrogeno il loro gran potere refringente: 3.° Quello di un gas è sempre proporzionale alla sua densità, senza che la variazione di temperatura vi rechi alcuna modificazione: 4.° L'azione del carbonio sulla luce è mol-

to più debole di quella dell'acqua : 5.° Il potere rifrangente di un composto risulta quasi esattamente dai poteri rifrangenti dei componenti in ragione delle loro forze : 6.° Il potere del carbonio è tre volte minore di quello del diamante, dal che si è inferito di non costare questo di puro carbonio, ma di qualche altra sostanza finora sfuggita alle chimiche ricerche. Trovati però inesatti i risultati ottenuti da BIOR sul potere rifrangente dei corpi composti diafani (1), ha dedotto DULONG dalle proprie sperienze la seguente legge, cioè che » la » forza rifrangente di un composto binario è maggiore » della somma delle forze dei componenti quando il » composto è neutro od alcalino , ed il contrario nei » composti acidi » (2).

972. Or queste esperienze smentiscono l'antica opinione di essere il potere refrangente proporzionale alla sola densità delle varie sostanze essendo il gas idrogeno, che ha il *minimum* di densità, fornito del *maximum* del potere refrangente. NEWTON per altro conoscendo che le sostanze infiammabili formano una eccezione alla legge delle densità, per aver osservato nel diamante e nell'acqua un potere refrangente superiore a quello conveniente alla loro densità ; opinò di dovere aver

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.* T. 31, p. 174.

(2) L. c. p. 180; e *Bull. des Scien.* Septembre 1825. In una interessante memoria di FRAUNHOFER inserita negli *Atti dell'Accademia di Monaco* per gli anni 1814-15, ed in una relazione dello stesso autore inviata a GILBERT e stampata negli *Annalen der Physik* T. 36, sonovi molte utilissime notizie relative agli indici di refrazione ed altri articoli analoghi.

questi un principio combustibile nella loro composizione, come venne posteriormente comprovato. Le ulteriori ricerche istituite sui poteri refrangenti delle diverse sostanze han provato variare questo potere secondo la condizione de' corpi, e crescere solo secondo la densità nel mezzo omogeneo. Così ha prevaluto l'opinione che i corpi secondo le loro condizioni chimiche hanno per la luce una più o meno forte affinità a causa del loro potere più o meno refrangente. Così per l'affinità il potere refringente dell'olio e dell'alcool è maggiore di quello dell'acqua, benchè questa superi quella in densità. Il potere refringente de' corpi deriva quindi dalla condizione della loro composizione e della loro densità; od in altri termini dall'affinità e dalla massa, che secondo BERTHOLLET esercitano l'azione chimica. Se n'è quindi dedotto, che la luce refrangendosi si avvicina alla perpendicolare quando da un mezzo la di cui azione chimica è minore passa in un altro che ne ha una maggiore; ed al contrario si allontana dalla perpendicolare quando da un mezzo di maggiore si trasferisce in un altro di minore azione chimica.

973. La legge di CARTESIO (§. 969) mena ad una conseguenza pienamente confermata dall'esperienza; cioè che i raggi cadenti sulla superficie di un mezzo refrangente di una densità diversa da quella del mezzo in cui si movevano, non passano tutti attraverso del secondo mezzo; ma una parte n'è riflessa nel contatto de' due mezzi. Supposto il passaggio della luce da un mezzo più denso in altro men denso, dovendo in tal caso l'angolo di refrazione IBC (Tav. 12 fig. 12) esser maggiore di quello d'incidenza HBA (§. 963), e serbarsi

costante il rapporto fra i seni d'incidenza e di refrazione sotto qualunque grado di obblività (§. 969); è chiaro esservi un certo grado d'inclinazione, in cui l'angolo d'incidenza essendo sempre acuto l'angolo di refrazione è retto, cioè eguale ad IEG, onde la direzione dei raggi spezzati coincide con la superficie di contatto dei due mezzi; e se più aumentandosi l'angolo d'incidenza si rende, per esempio, eguale ad HBD, quello di refrazione diverrà ottuso, cioè sarà IBE, e si alzeranno i raggi sulla superficie di contatto. In tal caso non si dirige ognun di essi come il lato dell'angolo ottuso risultante dalla legge di refrazione, ma fa l'angolo di riflessione eguale a quello di incidenza. Può quindi conchiudersi, che passando la luce da un mezzo più in altro meno rifrangente vi è un limite di obblività d'incidenza, al di là del quale invece di refrangersi si riflette, detto *limite di refrazione*, il quale è generalmente diverso secondo lo scambievole rapporto de' mezzi più o meno refringenti.

974. Ma se al contrario passa la luce da un mezzo raro in altro denso, anche in tal caso si riflette nel loro contatto una parte de' raggi che è generalmente minore di quella del caso precedente; e per quanto l'incidenza sia obbliva, vi sono sempre alcuni raggi riflessi ed altri refratti, in modo però che il numero de' primi cresce e quello de' secondi scema in ragion dell'aumento di obblività dei raggi incidenti (1). Appunto perchè una parte di questi raggi sfuggendo alla refrazione si riflette,

(1) È chiaro che nel caso in esame l'obblività del raggio incidente non può mai esser tale che il seno di refrazione eguali il raggio, essendo esso sempre minore di quello di incidenza.

la superficie di un' acqua tranquilla e quella degli altri corpi trasparenti fanno sino ad un certo punto le voci degli specchi.

975. Cercando i Fisici di render ragione di questi fatti tentarono dapprima di sottoporre questa inflessione della luce alle leggi meccaniche, riprendendola dalla maggiore o minor resistenza de' mezzi in cui penetra (§. 540). Ma costando per queste leggi che nell' obbliquo passaggio di un corpo dall' aria nell' acqua si allontana dalla perpendicolare abbassata dal punto d' immersione (§. 541), mentre in tal caso la luce si avvicina alla normale (§. 963); sembra doversi concludere che i mezzi densi resistono meno de' rari ai moti della luce. Non potendo attribuire questa minor resistenza alla natura del mezzo, s' imputò la refrazione ad un fluido sottile occupante i pori del mezzo, il quale essendo tanto più raro per quanto più piccoli erano i pori, diveniva meno resistente ne' mezzi più densi.

976. Non contento NEWTON di questa spiegazione gratuita delle leggi di refrazione, cercò di renderne conto per mezzo dell' attrazione operosa a piccole distanze. Sia EF un raggio di luce (Tav. 12 fig. 43), il quale penetri normalmente dall' aria nel mezzo diafano ABCD più denso. Prolungata CA finchè sia Aa eguale al raggio della sfera di attività sensibile nel mezzo ABCD, e presa su di AC la parte Ac eguale ad Aa, si tirino le due rette *ab*, *cd* parallele ad AB. Essendo lo strato ABCD omogeneo ed il raggio EF ad esso normale, ne sarà questo egualmente attratto per ogni parte, e per tale attrazione accelererà il suo moto senza piegarsi da alcun lato. Uscendo poi il raggio lucido dal-

lo strato ABCD , e ritornando nell'aria , che come di quello men densa è meno attraente, dovrà per l'opposta ragione ritardare un poco il suo moto; ma non vi è in ambi i casi alcuna ragione per cui debba in alcun modo cangiare la sua direzione. Passando dunque la luce normalmente da un mezzo in un' altro che diversamente l'attragga , non cangia direzione , ma soffre solo un acceleramento, od un ritardo secondo la diversa attrazione de' due mezzi. Penetrando all' opposto il raggio di luce *Ge* obbliquamente nello stesso mezzo ABCD , appena avrà esso toccato la linea *ab* comincerà ad essere attratto dal mezzo AD più di quello che lo era dall'aria; ed agendo quest' attrazione nella direzione *em* perpendicolare ad AB si combinerà colla celerità nella direzione *Ge* in modo che devierà il raggio dalla sua primiera direzione , descrivendo la diagonale *eo* del piccolo parallelogrammo *emon* formato sulle direzioni delle due forze da cui è mosso. E crescendo la celerità verticale *em* a misura che il raggio più si avvicina alla superficie attraente AB , mentre la celerità orizzontale *en* si conserva inalterata ; è chiaro che la piccola diagonale *eo* deve realmente risultare una piccola curva colla concavità rivolta verso AB. Quando poi il raggio penetrato nel mezzo sarà pervenuto al di sotto della linea AB , sarà attratto nel tempo stesso dall' alto in basso dalle parti del mezzo ad esso inferiore , e dal basso in alto dalle parti superiori ; ed estendendosi dapprima l'attrazione di queste ultime ad una distanza minore del raggio *Bd* della sfera di attività del mezzo, mentre quella delle parti inferiori agisce in tutta l'estensione dello stesso raggio, il moto del raggio luminoso crescerà gra-

dotamente di velocità, onde la nuova parte della curva *oi*, ch' esso avrà descritto, sarà rivolta dalla stessa parte della prima. Appena poi avrà il raggio toccato la linea *cd* si troverà interamente prolungato nella sfera di attività del mezzo; ed attratto allora egualmente da tutte le parti, prenderà un moto rettilineo per la tangente *ir* all' estremità della curva *coi*. È chiaro che il raggio di luce descrivendo questa curva si avvicina alla perpendicolare *fg* nel punto d' immersione; ed essendo la curva piccolissima, sembra comporsi la direzione del raggio di due rette situate come *Go*, *or* che s' intersecano nel punto d' immersione. Lo stesso avviene in ordine inverso dopo il punto *r*, distante dalla linea *CD* quanto il raggio *BD* della sfera d' attività sensibile del mezzo; onde il raggio luminoso descrive in tal caso un'altra curva *rvz* simile alla prima, ma con la concavità rivolta in senso opposto; per cui quando il raggio non è più attratto che dall' aria circostante, si muove in linea retta nella direzione *zH* allontanandosi dalla perpendicolare *pvq* nel punto di emergenza. Ed eguagliando l'angolo d'incidenza *rvp* quello di refrazione *goi*, per essere parallele le due superficie *AB*, *CD* e le perpendicolari *fg*, *pq*; l'angolo di refrazione *qvH* eguaglia quello d'incidenza *Gof*, ossia partendo il raggio da *z* ha una velocità costante ed eguale a quella con cui s' immerge lungo *Gc*; od altrimenti, il raggio emergente *zH* ha la stessa velocità ed è parallelo al raggio incidente *Gc*.

977. Risponde questa spiega a tutti i casi di refrazione, e rende specialmente conto della riflessione che ha luogo a certi gradi d'incidenza, cioè della riflessio-

ne del raggio , che ha luogo in vece della sua emersione (§. 973). Allora la sua celerità perpendicolare potrà annientarsi nell' avvicinarsi alla superficie o su di questa , o nell' atto che giunge al limite esteriore delle forze attrattive ; e diminuita questa celerità , le forze attrattive proseguendo ad operare faranno torcere e ritornare il raggio, il che produrrà nello stesso mezzo la riflessione.

CAPITOLO VI.

DELLA LUCE REFRATTA DAI VETRI SFERICI.

978. Poichè un mezzo di superficie parallele devia la luce con egual forza , benchè in senso contrario , sì nell' entrata che nell' uscita ; i raggi emergenti risultano paralleli agli incidenti. Perciò gli oggetti guardati a traverso di vetri di superficie parallele, veggonsi inalterati , come se questi non esistessero ; e se osservati sotto una grande obbliquità sembrano cangiati alquanto di luogo, non la compariscono però mai di grandezza e situazione. Ma se poi le due superficie del mezzo rifrangente lungi dall' essere parallele sono scambievolmente inclinate , la luce rifrangendosi prende altre direzioni e produce diversi fenomeni. Per studiarsi si prescelgono i vetri, come quelli che si usano ordinariamente nell' Ottica, e tra essi dapprima quelli di superficie curva , come i segmenti di sfere , detti perciò *vetri sferici* , o *lenti* ; e poi quelli di superficie piana , ma scambievolmente inclinate , detti *vetri prismatici* o *prismi*. In ambi i casi però non si parla che di

prismi, non essendo le lenti che riunioni d' infinito numero di prismi.

979. Si distinguono i vetri sferici in *vetri convessi* o *di convergenza*, ed in *concavi* o *di divergenza*. Inoltre le lenti possono essere 1.^o *piano-convesse* se hanno una superficie piana ed un' altra convessa, come A (Tav. 12 fig. 14); 2.^o *convesso-convesse*, o *biconvesse* se ambe le superficie sono convesse, come B; 3.^o *piano-concave* se una superficie è piana ed un' altra concava, come C; 4.^o *concavo-concavo* o *biconcave* se entrambe le superficie sono concave, come D; 5.^o *convesso-concave*, come E, nel qual caso diconsi anche *menischi* a causa del loro profilo.

980. Di qualunque forma siano le lenti, hanno esse un punto in cui le due facce opposte sono parallele. Dicesi questo *centro ottico* a differenza del *geometrico*, ch' è quello della sfera di cui fan parte. La perpendicolare alle due facce, che passa pel centro ottico, ed in cui sono i centri geometrici delle due facce chiamasi *asse della lente*. Se il centro ottico ed il punto d' intersezione dell' asse sono precisamente nel mezzo del contorno esteriore del vetro, dicesi che *la lente è esattamente centrata*. È questa proprietà che la rende atta agli usi ottici, e si è sicuro della sua esistenza se facendo muovere la lente circolarmente in un piano orizzontale al suo asse non cangiano gli oggetti di apparente posizione.

DELLE LENTI CONVESSE.

981. Per conoscere gli effetti della refrazione della luce per lenti sferiche, è d' uopo dapprima esaminare

un vetro piano-convesso come AB (Tav. 43 fig. 4). Può considerarsene la curvatura formata da un gran numero di rette , e composta la superficie di un numero incalcolabile di picciolissimi piani insensibilmente e variamente inclinati gli uni verso gli altri, tutti però simmetricamente disposti intorno all'asse CD. Ciò posto , passando i raggi di luce dall'aria nel cristallo, avvicinar debbonsi alle perpendicolari IK, IM (§. 963) tirate dai punti d'immersione T ed S , le quali partendo dal centro geometrico I sono raggi di curvatura. Cadendo quindi sulla lente AB i raggi paralleli FT, GS, lungi dal proseguire il loro cammino per TP ed SQ si refrangono, ed avvicinandosi alle normali IK, IM si spezzano nei punti d'immersione e diriggonsi per TD, SD. Cadendo poi i raggi sulla lente divergenti, come CT, CS, o divergentissimi come OT, OS, per avvicinarsi alle perpendicolari escono nel primo caso per TP, SQ, cioè paralleli , e nel secondo caso per TN, SR, cioè meno divergenti di prima. Ma se cadono i raggi ET, HS, sulla lente convergenti, n'escono per la stessa legge più convergenti, e vanno ad incontrarsi nel punto L.

982. Lo stesso effetto producesi dalle lenti convesse in ambe le superficie ; si ha solo ne' raggi una maggiore convergenza, dovendo essi per la curvatura rifrangersi nell'immersione e nell'emersione dalla lente. Cadendo in fatti sulla lente biconvessa AB (Tav.43 fig.2) i raggi paralleli CE, DF; per entrar questi da un mezzo raro nella convessità di un altro denso, si refrangono nei punti E ed F avvicinandosi alle normali a e b ; giunti poi in G ed in I, da cui ritornato in un mezzo meno ri-

frangente , si allontanano dalle rispettive normali c, d ; onde soffrendo una seconda refrazione si diriggono per GH ed III ed incontransi nel punto H. Lo stesso avviene se i raggi in vece di essere paralleli, divergenti siano o convergenti.

983. Or se queste specie di lenti sferiche concentrano i raggi paralleli che le attraversano, aumentano la convergenza di quei che convergono, e diminuiscono la divergenza di quei che divergono; è chiaro che modificano esse al pari degli specchi concavi (§. 938) il corso de' raggi luminosi, onde diconsi *lenti convergenti*. Chiamasi il punto D *foco reale* della lente (Tav. 13 fig. 1), per riunirsi i raggi FT, GS; essendo questi paralleli, dicesi il punto D *foco de' raggi paralleli* o *foco principale*, per distinguersi da altri fochi, come D, che possono prodursi a varie distanze dalla lente secondo la varia disposizione de' raggi da cui derivano. Ma si aumenta per la stessa sostanza l'angolo di refrazione in ragione di quello d'incidenza, secondo l'obliquità cioè del raggio sulla superficie del mezzo rifrangente (§. 969). Debbono quindi a circostanze eguali inflettersi i raggi lucidi secondo la sfericità della lente; ma s'incontrano essi in tal caso in un punto più prossimo; la *distanza focale* dunque, quella cioè della lente dal foco dev'essere di tanto minore di quanto è maggiore la sfericità della lente. Possono intanto avere le lenti convergenti il *foco virtuale* quando sito in C, od in O l'oggetto luminoso sortendo i raggi dalla lente paralleli od anche divergenti, comunque prolungati convenir non mai possono in un sol punto.

984. Or se uel foco reale si riuniscono effettivamente

i raggi emessi dall'oggetto luminoso, ivi anche dipinger debesi l'immagine di questo. Tale proprietà fa trarne il foco d'una lente convergente, esponendola al sole o ad altra luce molto lontana, e ricevendone l'immagine su di un muro od un cartone; il punto in cui comparisce l'immagine più distinta è il foco, e la distanza di questo dalla lente, ossia di questa dal muro è la richiesta distanza focale principale. Essendosi intanto verificato coll'esperienza che tale distanza nelle lenti piano-convessc eguaglia il diametro della sfera di cui son esse un segmento, e nelle biconvesse di eguale convessità da ambe le parti eguaglia il semidiametro di una delle due superficie; si è conchiuso che nelle lenti disugualmente convesse la distanza focale è intermedia tra il diametro ed il raggio della superficie più convessa. Supponendo in fatti che una di queste lenti dalla parte meno convessa perda gradatamente la sua sfericità, la distanza del proprio foco aumentata in proporzione, eguaglierà in fine il diametro della superficie più convessa quando l'altra si sarà resa perfettamente piana.

985. I raggi di luce vicinissimi all'asse cadendo con poca obbliquità su di una lente convergente soffrono piccole ed eguali deviazioni, e quindi s'intersecano tra loro e coll'asse medesimo nello stesso punto F , e vi producono il foco (Tav. 42 fig. 45); mentre quei che cadono a maggior distanza dall'asse e quindi con maggiore e varia obbliquità, soffrendo successivamente maggiori e varie deviazioni s'intersecano fra loro in diversi punti $f, f. . .$; ed i complessi di queste intersezioni supposte infinitamente vicine costituiscono intorno all'asse una superficie curva. Diconsi questi rami

caustiche per refrazione. Quanto più le lenti sono grandi tanto più soffrono quest' *abberrazione di sfericità*; onde non concorrendo in un punto i raggi da esse raccolti, non è dinotato il loro foco che da un cerchietto luminoso, il di cui perimetro risulta di tanto maggiore di quanto il foco è più lontano dalla lente. Si impiega in tal caso una seconda lente convessa, detta *retro raccoglitore*, per raccogliere la luce in uno spazio più stretto. Pruova poi l'esperienza che nelle piccole lenti quasi tutti i raggi da esse raccolti concorrono nel loro foco, talchè le caustiche vi si concentrano quasi interamente.

986. Avendo le lenti convergenti un foco reale, i raggi solari su di esse caduti acquistano concentrandosi una forza calorifica sì grande da mettere in ignizione i corpi combustibili, come se fossero stati riflessi e concentrati dagli specchi concavi (§. 948). Perciò le lenti biconvesse diconsi ancora *lenti ustorie*. TSCHIRNAUSEN, HARTSOEKER ed altri ne hanno costruito di circa quattro piedi di diametro per fondere finanche i metalli. Molto più efficaci sono però le così dette *lenti ustorie vuote*, risultanti dall'unione di due segmenti sferici vuoti cementati in modo da formare una lente biconvessa vuota, la di cui capacità si riempie di alcool, o meglio di olio di trementina. LORENZO e DOMENICO SELVA, ottici Veneziani, ne furono gli inventori (1), ed i primi fabbricanti; ma le più rinomate sono quelle di TRUDAINE del raggio di 8 piedi, e l'altra di BERNIERES dell'ampiezza di 4 piedi e della spessorezza nel mezzo di 7 polli-

(1) LORENZO SELVA, *Dialoghi ottici*, p. 150.

ci e 9 linee. Ne' lavori delicati si adoprano da molti artefici anche le lenti biconvesse, perchè raccogliendo esse molta luce possano vedere con maggior chiarezza i piccoli oggetti.

987. Rendendo queste lenti paralleli i raggi, che su di esse cadono divergenti (§. 984), si usano ora con vantaggio per illuminare a gran distanza; e si è riconosciuto che la luce da queste lenti refratta illumina più della riflessa dagli specchi concavi.

988. Conosciuto l'andamento de' raggi luminosi nelle indicate lenti, è facile il ravvisare come si scorgano gli oggetti con esse osservati. Tre casi possono occorrere, o trovarsi questi nel foco, od al di quà, od al di là della distanza focale. Nel primo caso, come per la fiamma d'una candela, i raggi divergenti da questa emessi sortendo sensibilmente paralleli (§. 984), comunque prolungati non possono incontrarsi giammai, e rappresentar quindi l'oggetto da cui derivano. Perciò ovunque sia l'occhio situato, non potrà scorgere che un indefinito strascico di luce. La costruzione di alcune lanterne di notte abbaglianti la vista di quei che vi s'incontrano, è su questo principio fondata.

989. Nel secondo caso, quando cioè l'oggetto DE (Tav. 13 fig. 3) è al di quà della distanza focale CF, l'occhio posto dall'altra parte della lente AB vedrà la immagine *de* dritta, più grande e più lontana dell'oggetto reale DE dalla lente. Poichè tra gli innumerevoli raggi scagliati sulla lente dal punto D ve ne sarà uno come DC, che essendo perpendicolare al centro ottico C, proseguirà il suo retto cammino per CG ed un altro DA parallelo all'asse OF, che devierà per AO, cioè ver-

so il foco posteriore O . E fra tutti i raggi emessi dal punto E vi sarà EC che passerà irrefratto per CH , come perpendicolare al centro C , ed EB che torcerà per BO . Dicasi lo stesso di tutti gli altri punti tra questi intermedi componenti l'intero oggetto DE . Or questi raggi divergenti, perdendo in parte per la sofferta refrazione la loro divergenza (§. 983), non possono in un punto riunirsi e dipingervi l'immagine dell'oggetto da cui derivano. Penetrando dunque nell'occhio divergenti, si raffigurano prolungati dal lato da cui pervengono, sino a che si tagliano in d ed in e ; e verificandosi lo stesso per tutti gli altri punti intermedi fra D ed E , si vedrà in de l'immagine di DE , dritta, più grande e più lontana dell'oggetto, ma illusoria e non reale. E risultando questi raggi nel passaggio per la lente meno divergenti, prolungar si debbono più in là di D ed E per potersi incontrare, onde dee l'immagine comparire più lontana dalla lente; ed aumentandosi colla distanza dei punti d ed e l'ampiezza de riguardo a DE , comparirà l'immagine non solo più lontana ma anche più grande dell'oggetto.

990. Nel terzo caso infine, quando cioè l'oggetto luminoso DE (Tav. 13 fig. 4) è al di là della distanza focale CF della lente AB ; un raggio del cono di luce emesso dal punto D , come DC , perpendicolare al centro ottico C , proseguirà il suo cammino Cd incrociandosi coll'asse della lente; il raggio EC procederà verso C senz'alcuna deviazione; il raggio DA si dirigerà per Ad , ed il raggio EB pel sentiero Be ; e questi ultimi dopo di essersi incrociati si congiungeranno in d ed in e cogli altri raggi Dd ed Ee . Ripetendosi lo stesso per tutti gli altri punti componenti la superficie dell'oggetto DE ,

ne risulta che dalla parte posteriore della lente si produrrà la sua immagine *dc*, ma rovesciata, e capace d'esser ricevuta su di un cartone bianco. Questa immagine si vedrà più grande dell'oggetto, ad esso eguale quando questo è posto alla doppia distanza focale, o al doppio raggio di curvatura, e di esso più piccola a misura che l'oggetto più si allontana, e si allontanerà dalla lente quanto più l'oggetto vi si avvicina, ed al contrario. Non derivano questi fenomeni che dal modo con cui cadono i raggi sulla lente; poichè quanto più l'oggetto luminoso si avvicina alla lente, tanto più divergenti vi cadono i raggi; onde risultando tanto meno convergenti dopo la refrazione, prolungar si debbono più in là della lente per potersi incontrare; e quanto più lungi si forma l'immagine tanto più supera in grandezza l'oggetto, come si è dimostrato parlando dei fenomeni della visione per mezzo degli specchi concavi (§. 944). Allontanandosi al contrario l'oggetto dalla lente, se ne forma l'immagine più a questa vicina e di quella più piccola. Vuolsi all'uopo avvertire che è lo stesso tenere la lente fissa a render mobile l'oggetto raggianti, che tenere questo fisso, e rendere equabilmente mobile la lente, subendo in ambi i casi il corso de' plessi luminosi le stesse modificazioni.

DELLE LENTI CONCAVE.

991. Avuto riguardo alla legge di refrazione (§. 963), di leggieri s'intendono gli effetti delle lenti concave. Cadendo invero sulla lente piano-concava *AB* (Tav. 12 fig. 16) i raggi *EN*, *CP*, *GO*; il secondo di essi attraver-

sando la lente nel punto P, centro di concavità, passerà irrefratto per PD; ma gli altri due, obliqui ai punti d'immersione N ed O, passando da un mezzo raro in altro denso, si avvicineranno alle perpendicolari CNK, COM, onde lungi dal proseguire il loro cammino per NF, OH si refrangeranno dirigendosi per NI ed OL. Per legge quindi di refrazione si rendono i raggi fra loro divergenti. Se ambe le superficie della lente fossero concave si otterrebbero gli stessi effetti però con aumento d'intensità, secondo ciò che si è detto per le lenti convesso-convexe (§. 984). Cadendo infatti sulla lente biconcava AB (Tav. 13 fig. 5) i raggi EF, CD, IK, non passerà irrefratto pel vetro che il secondo di essi, mentre gli altri incidendo obbliquamente si avvicineranno alle rispettive normali, ossia ai raggi di curvatura CF, CK, dirigendosi per FG, KL. Giunti in G ed L, dovendo passare da un mezzo denso in altro raro, si allontaneranno dalle rispettive normali DG, DL; e si rifrangeranno di nuovo per le direzioni GH, LM; onde si aumenterà la divergenza dei raggi per le due refrazioni sofferte nell'immersione e nell'emersione dalla lente.

992. È facile quindi l'intendere l'andamento dei plessi luminosi cadenti sulle lenti concave in qualunque direzione. Tirati sulla lente biconcava i raggi di curvatura CD, CE sui punti d'incidenza *a* e *b* (Tav. 13 fig. 6), i raggi paralleli *Fa*, *Cb* n' escono divergenti; i divergenti, come *Ha*, *Kb*, si rendono più divergenti; quei che partono dal centro C, come *Ca*, *Cb*, non soffrono refrazione, essendo perpendicolari ai rispettivi punti d'incidenza; gli altri che partono dal punto I più

prossimo alla lente del suo centro C , avvicinandosi alle rispettive normali diventano meno divergenti; ed i raggi convergenti, come La , Mb , risultano dopo la refrazione paralleli o meno convergenti secondo la loro minore o maggiore convergenza.

993. Rendendo queste lenti divergenti i raggi paralleli, tali i convergenti, e più divergenti quei che così vi giungono; modificano al pari degli specchi convessi i raggi luminosi (§.954), e chiamansi quindi *lenti divergenti*. Per questa proprietà i raggi su di esse cadenti non potendo riunirsi e produrre un foco reale, prolungati coll'immaginazione dalla parte opposta sino al loro incontro vi producono un foco virtuale, che si determina coprendo di carta o di foglia di stagnuola forata in due punti a e b (Tav. 43 fig. 7) la faccia della lente opposta a quella che riceve la luce; ed esponendola poi ai raggi solari per ricevere sul cartone o muro la luce rifratta in A e B . I due raggi rifratti aA , bB producono sul cartone due piccoli cerchi luminosi, che si discostano tra loro di quanto la lente si allontana dal cartone. Or quando la distanza AB delle macchie luminose è doppia della distanza ab dei due buchi, la distanza cC della lente dal muro eguaglia la distanza focale principale Fc , od Ff , trascurandosi come insensibile la spessezza della lente fc . Poichè essendo pei triangoli simili AFB , aFb , $AB:ab :: FC:Fc :: AB$ doppia di ab rende FC doppia di Fc , onde cC , ed FC , od Ff risultano tra loro eguali. Prova l'esperienza che la distanza focale Ff nelle lenti piano-concave eguaglia l'intero diametro della loro concavità, e nelle egualmente concave da ambe le parti è eguale al semidiametro di

una delle due superficie; onde in quelle di diseguale concavità per una ragione simile all' addotta per le biconvesse (§. 984) è intermedia tra il diametro ed il semidiametro della superficie più concava.

994. Modificandosi i raggi luminosi dalle lenti divergenti come lo sono dagli specchi convessi, puossi ben inferirne l'identità de' fenomeni di questi con quello delle lenti concave. Sia in fatti AB (Tav. 13 fig. 8) una lente biconcava, CD il suo asse, F e D i due fochi virtuali, e sia situato in C l'oggetto EH. Guidando dal punto E il raggio EG parallelo all' asse, sarà questo refratto per GM, e da parallelo diverrà divergente in modo che prolungato sembrerà pervenire dal foco F. L' altro raggio ELN guidato dallo stesso punto passando pel centro ottico non si rifrangerà; onde i due raggi GM, LN divergeranno in modo che prolungati sembreranno pervenire dal punto *e*, in cui sembrano concorrere tutt' i raggi spiccati dal punto E; come tutt' i raggi componenti il cono lucido IHL emesso dal punto H sembrano concorrere dopo la refrazione nel punto *h*. Valendo lo stesso ragionamento per i varii punti raggianti dell' oggetto EH, si ha in *eh* la posizione e grandezza dell' immagine, che si vede a traverso della lente. È quindi chiaro che i raggi lucidi trasmessi attraverso di una lente divergente formano delle immagini dritte, più vicine e più piccole degli oggetti. Più vicine, perchè passando i raggi per la lente n' emergono più divergenti, onde prolungandosi, si riferisce il loro incontro ad un punto più vicino; più piccole poi per le seguenti ragioni, *eh*: EH :: CL : cL, ossia di quanto queste lenti aumentano la divergenza de' raggi, di tanto diminuisce

l'angolo visuale: ma i raggi cadono sulla lente tanto meno divergenti quanto più l'oggetto è lontano; dunque allontanandosi questo da essa, l'immagine ch'è sempre dritta si scosta dalla superficie sino al foco della lente; e la sua grandezza apparente menomandosi in corrispondenza si rende nel foco piccolissima. Ben si osserva l'analogia di tutte queste proprietà con quelle delle immagini formate dagli specchi convessi.

DELLE LENTI CONCAVO-CONVESSE.

995. Le proprietà delle lenti concavo-convexe risultano dalla cognizione di quelle delle lenti convergenti e divergenti. In fatti sul menisco AB (Tav. 13 fig. 9) avente il raggio di convessità eguale a quello della concavità, cada il raggio CD: dovendo passar questo da un mezzo raro nella convessità di un'altro denso, si refrange, e per questa refrazione si unirebbe coll'asse EF prendendo la direzione DF. Ma questo raggio giunto in I per ritornare dal mezzo denso nella convessità dell'altro raro dee di nuovo allontanarsi dall'asse EF; ed essendo il raggio della convessità eguale a quello della concavità, con quanta forza si è desso per la prima refrazione in D avvicinato all'asse EF, con altrettanta per la seconda in I dallo stesso devia; ma per ipotesi il raggio immergente CD è parallelo all'asse EF, dunque anche il raggio refratto IG dev'esserli parallelo. Or se i raggi paralleli, che si refrangono nei menischi del diametro di convessità eguale a quello di concavità, tali serbansi anche dopo la refrazione; può generalmente conchiudersi che quando il menisco ha le due superficie

parallele non altera la natural posizione dei raggi che lo attraversano. Quindi se tali menischi non raccolgono, nè disperdono la luce, comportansi al pari dei vetri piani (§. 978), e perciò non sono di alcun uso ne' fisici strumenti. Ma se il raggio della convessità ne' menischi è minore di quello della concavità, si comportano come le lenti convesse; e se in fine il raggio della convessità supera quello della concavità, fanno in tal caso le veci delle lenti concave.

DELLE LENTI A SCALONI.

996. BUFFON, che concepì il primo l'idea delle lenti composte per aumentare gli effetti della luce, non ebbe un risultato favorevole per averle costruito di un sol pezzo di vetro. Riferitata dopo molto tempo questa impresa da FRESNEL con diverso successo, presentò nel 1822 all' Accademia Francese per illuminare i fari un apparato lenticolare, che poi migliorò nel 1824 con lenti cilindriche a scaloni. Costui esse di una lente comune piano-convessa *aa* (Tav. 13 fig. 10), e di varii pezzi sfero-prismatici anulari *bb*, *cc*, *dd* che esattamente l'un l'altro s'inviluppano. È lavorato in modo ogni anello da soddisfare alle seguenti condizioni, a quella cioè di permettere libero passaggio ai raggi paralleli, che l'attraversano, senza disperdersi per la faccia laterale *n*, che all'uopo si spulisce; ed all'altra di proiettare i raggi, che passano per la superficie curva *m*, in modo da formare un sol foco con quelli concentrati dalla lente *aa*. È per ciò che alle lenti a scaloni può darsi una convessità minore di quella delle lenti comuni, e piccola

essendo la spessezza de' vetri non si disperde che pochissima quantità di luce. Una lente di tal fatta di 20 a 24 pollici di diametro, e di 12 a 15 pollici di distanza focale principale, esposta ai raggi del sole ne produce l'immagine di sì viva chiarezza, ed il calore eccitato nel suo fuoco è tale da arroventare immantinenti lo stagno, lo zineo, il rame e talora anche il ferro, e da fondere le lamine d'oro, e finanche quelle di platino.

997. Se queste lenti riuniscono in un sol punto i raggi paralleli che cadono su di esse, tali render debbono quelli che partono da un punto luminoso posto nel loro foco; e gli esperimenti istituiti da FRESNEL e da ARAGO provano di esser l'effetto di questo apparato di refrazione più che triplo di quello prodotto dai grandi specchi (§.987). Un'ora infatti dopo il tramonto del sole questo apparato alla distanza di 50 miglia compare sì brillante quanto alla distanza di 15 miglia lo è uno degli ordinarii fari Inglesi. Si è quindi adottato per lo stabilimento dei fari un nuovo sistema d'illuminazione incalcolabilmente superiore agli antiehi, e dai quali la navigazione ne ritrae immensi vantaggi. Un fanale a quattro lucignuoli concentrici situati nel foco di una lente a scaloni è visibile in mare sino alla distanza di 10 a 12 leghe; e che le apparenze d'ogni foco possono variarsi a volontà senza confondersi dai naviganti due fochi vicini.

CAPITOLO VII.

DELLA LUCE REFRACTA DAI PRISMI E DELLA SUA
DECOMPOSIZIONE.

998. Si è dimostrato (§. 978) che un raggio di luce attraversando un mezzo refrangente di superficie parallele, prova nell' immergervisi e nell' emergerne due opposte refrazioni, che serbano la sua primiera direzione, ossia che scorre il raggio refratto un sentiero parallelo a quello del raggio incidente. Or non ha luogo questo effetto quando le superficie del mezzo refrangente sono fra loro oblique come le facce opposte di un prisma triangolare di vetro. La luce è in tal caso dal prisma deviata e particolari fenomeni produconsi nella visione e nella luce medesima, per le leggi generali della refrazione. Rappresenti in effetti ABC (Tav. 13 fig. 11) la sezione verticale di un prisma triangolare, la di cui superficie AC dicesi essere la *base*, e l'angolo ABC *angolo refrangente*. Se il raggio SD cade sulla faccia anteriore AB dovendosi avvicinare alla perpendicolare *ab* tirata sul punto di incidenza D, invece di proseguire il suo cammino per SDF si rifrange nell' alto per la direzione DE. Giunto sulla faccia posteriore CB dovendosi allontanare dalla normale *cd* condotta sul punto di emergenza E, perchè passa da un mezzo denso in un altro raro, si refrange di nuovo e prende la direzione EO. Prolungandosi quindi il raggio incidente SD indefinitamente verso F ed il raggio emergente OE sino ad incontrarsi con FS in G, l'angolo acuto OGF indicherà di quan-

to il raggio OED ha deviato dalla primiera direzione per le due refrazioni.

999. L'occhio posto in O (Tav. 13 fig. 11) deve vedere il punto S, da cui parte il raggio SDEO nella direzione del raggio emergente prolungato, cioè nel punto S', più basso di quello che è, attesa la deviazione del raggio, verso il vertice dell'angolo rifrangente del prisma. Quindi se date le stesse circostanze si rovesciasse il prisma in modo che l'angolo refrangente vada in alto, il punto irraggiante S si vedrebbe più in alto di quello che è, dovendo seguir sempre la deviazione verso l'angolo refrangente.

1000. Il prisma intanto rifrangendo la luce non solo fa vedere gli oggetti ove non sono, ma li tinge anche di varii colori. Prova questo fatto ad evidenza che la luce bianca del sole è un assieme di particelle eterogenee, e quindi capaci di produrre diverse sensazioni colorifiche. Disponendo infatti fuori l'imposta d'una finestra uno specchio piano metallico per riflettere nella stanza perfettamente oscurata un raggio di luce in qualunque direzione (Tav. 13 fig. 12); penetrandovi questo per un piccolo foro circolare in linea retta dipingerà sull'opposto muro o su di un piano qualunque l'immagine circolare del sole S'; ma attraversando il prisma A, lungi dal proseguire il suo retto cammino e produrre il cennato effetto, si refrangerà, e dilatandosi nel senso della refrazione, e sparpagliandosi descriverà una immagine solare allungata, e sensibilmente distinta in sette colori detti *prismatici* così ordinati, rosso, arancio, giallo, verde, azzurro, indaco e violetto; immagine propriamente detta *spettro solare*.

1001. Attraversando i raggi il prisma si refrangono due volte, onde il raggio emergente deviando dalla sua direzione dipinge più in alto l'immagine del sole. Se costassero i raggi solari di particelle dotate delle stesse proprietà ed egualmente refrangibili, cioè capaci di sentire nello stesso modo la forza attrattiva rifrangente, non potrebbe il prisma che deviare il raggio dal suo retto cammino e fargli dipingere più in alto l'immagine del sole. Ma costando ogni raggio di molti altri raggi dotati di qualità diverse e di varia refrangibilità, nell'attraversare il prisma devian questi inegualmente dalla normale tirata dal punto di emergenza secondo il loro vario grado di refrangibilità. Quei che meno si allontanano dalla perpendicolare sono i raggi rossi, e quei che più ne discostano sono i violetti, gli altri intermedi ne deviano più o meno secondo l'ordine della loro situazione. E camminando questi raggi tra loro divergenti, quanto più lungi dal prisma cadono sul piano di proiezione, tanto più si distinguono i colori.

1002. Ora i raggi rossi essendo egualmente refrangibili formano un'immagine rossa circolare, un'altra aranciana formano i raggi di questo colore, e così per tutti gli altri. Lo spettro solare dunque non costa che d'infinito rotonde immagini del sole poste le une sulle altre, di cui ognuna è più alta della precedente, ed i di cui centri sono su di una stessa linea retta perpendicolare alla direzione del prisma come si rappresenta da AB (Tav. 14 fig. 1). Risultaudo lo spettro solare da un infinito numero di cerchi eguali, che viciniissimi tra loro frastagliansi, i punti di tante intersezioni formar debbono delle rette tangenti tutti i cerchi. Perciò comparisce lo spet-

tro lateralmente terminato da due parallele, e negli estremi da due archi circolari. Eguaglia la sua larghezza il diametro dell'immagine solare S' (Tav. 13 fig. 12), ed i limiti della refrazione tra il rosso ed il violetto ne determinano la lunghezza. Decomposto un fascio di luce attraverso il prisma in infiniti con, i di cui assi formano tra loro angoli picciolissimi, e le di cui basi frastagliandosi tra loro, in parte si confondono; il colore de'raggi rossi dello spettro insensibilmente degradasi sino a finir nell' arancio, questo anche a poco a poco dileguandosi termina nel giallo; e così di mano in mano cangia gradatamente il colore de'raggi dall'uno all'altro cono, passando dal rosso all'arancio, da questo al giallo, dal giallo al verde e da questo di grado in grado sino al violetto.

1003. Questa analisi della luce eseguita per la prima volta dal nostro GIAMBATTISTA DELLA PORTA, nota di poi al Gesuita GRIMALDI e con altri esperimenti convalidati da NEWTON (tenutone intanto per autore) (1), può comprovarsi con degli esperimenti sintetici. Riceven-

(1) Fin dal 17 aprile 1767 il ch. Abbate D. ANTONIO GENOVESI scoperto avea che: « la teorica della luce è un plagio dell' Ottica del nostro GIAMBATTISTA DELLA PORTA stampata qui in Napoli 1693. Camera ottica, Prisma triangolare, mezzi rifrangenti, raggi varii, varia rifrazione, colori figli della rifrazione ec. tutte sono invenzioni di questo gran genio Napoletano. » V. *Scienze metafisiche*, P. II. Teol. c. 9. n. 4 m. 389. Di quest' opera intitolata *De lucis refractione*, di facce 230 in 4.º oltre l'approvazione (Romae ilij Id. Martij 1593), esistono in Napoli gli esemplari, nelle biblioteche, cioè, di S. Angiolo a Nilo, del fu Marchese BERIO, del Cavaliere COTUGNO, del Consigliere DOMENICO CRITENI, e del Regio professore SAVERIO MACRI.

dosi lo spettro su d'una lente biconvessa, spariscono tutti i colori del prisma, e raccolti nel foco del vetro vi producono l'immagine solare, perfettamente bianca. Su d'un cartone circolare del diametro di un piede (Tav. 14 fig. 2), e forato nel centro per farlo girare su d'un pernio, si dipingano in nero due zone, l'una d'intorno al centro e l'altra sulla periferia, e sullo spazio fra le zone interposte s'incollino sette piccole liste di carta colorata, la prima in rosso, la seconda in arancio, la terza in giallo, e così di seguito, dipingendole in modo da imitare al possibile le vere tinte prismatiche, e rendendo la larghezza di ogni lista proporzionale allo spazio che il corrispondente colore occupa nella lunghezza dello spettro; dividendosi cioè l'intera periferia del cerchio in gradi e minuti primi e secondi, il rosso occupar ne deve $60^{\circ}, 45', 34''$; l'arancio $34^{\circ}, 10', 38''$; il giallo $54^{\circ}, 41', 1''$; il verde $60^{\circ}, 45', 34''$; l'azzurro $54^{\circ}, 41', 1''$; l'indaco $34^{\circ}, 10', 38''$; ed il violetto $60^{\circ}, 45', 34''$. Girandosi celeramente il cartone sul proprio centro, tutti i colori delle varie tinte scompaiono, e l'intervallo delle due zone comparisce bianco. La ragione del fenomeno è semplicissima. Se su di un fondo nero non vi fosse che la sola lista rossa, essendo l'impressione luminosa per qualche istante durevole, a causa della rotazione si vedrebbe un cerchio rosso come nel celere giro del carbone acceso si osserva; così ancora se non vi fosse che la sola lista gialla si vedrebbe un cerchio giallo, poi uno verde per la sola lista verde, e così in appresso. Or girando ad un tempo tutte queste liste, e vedendosi nello stesso istante un cerchio rosso, un altro arancio, un altro giallo... non si potrà vedere che un

cerchio bianco, non essendo la sensazione del bianco che la simultanea di tutte le tinte prismatiche.

1004. Ottenendosi nelle arti il verde colla miscela del giallo e del turchino, l'arancio con quella del rosso e del giallo, e l'indaco con l'altra dell'azzurro e del violetto; ed essendo disposti i colori nello spettro in modo che l'arancio è tra il rosso ed il giallo, il verde tra il giallo e l'azzurro, e l'indaco tra l'azzurro ed il violetto; alcuni Físici non senza fondamento opinarono di non essere che quattro i colori dello spettro, il rosso cioè, il giallo, l'azzurro, ed il violetto, risultando gli altri tre dalla unione dei due colori tra i quali è ognuno collocato nello spettro. Fu questa opinione dapprima sostenuta da un esperimento. Raccolti su di un cartone in un punto i raggi rossi e gialli di due spettri solari ottenuti con due prismi, si ha il colore arancio nel punto della loro unione; da quella dei raggi giallo ed azzurro risulta il color verde, e dall'altra dell'azzurro e del violetto si ha l'indaco. NEWTON però impugnò questo divisamento con un esperimento più decisivo. Formato per mezzo del prisma lo spettro solare, portò successivamente ogni colore prima su di uno specchio piano, concavo e convesso, e poi li fece attraversare per un altro prisma o per una lente qualunque. Avendo osservato inalterato ogni colore dalla riflessione e dalla refrazione, i colori artificiali dell'arancio, del verde, e dell'indaco attraversando pel prisma si decomponeano nei loro colori elementari; conchiuse di non esser dessi che modificazioni inalterabili della luce. Quindi i colori dello spettro solare sonosi sin d'allora denominati *colori primitivi, semplici, ed omogenei*; e l'aran-

cio , il verde e l'indaco prodotti per composizione intitolati si sono *colori composti , secondarii , ed eterogenei*.

1005. Ravvisati da NEWTON non egualmente refrangibili i raggi dello spettro , conoscer ne volle la differenza. Fatti cadere successivamente su di un prisma triangolare di vetro tutti i raggi primitivi coll'incidenza del seno di 50° , osservò quello di refrazione de' raggi meno refrangibili , cioè de' rossi , espresso da 77 , e da 78 l'altro dei raggi più refrangibili , cioè de' violetti. E dividendo la differenza di questi due numeri in parti proporzionali agli intervalli de' limiti de' colori dello spettro , i seni di refrazione de' diversi raggi pel cennato seno d'incidenza restarono espressi dai numeri 77 , $77\frac{1}{4}$, $77\frac{1}{5}$, $77\frac{1}{6}$, $77\frac{1}{7}$, $77\frac{1}{8}$, $77\frac{1}{9}$, e 78. D' onde segue che i seni di refrazione de' raggi rossi , relativi a tutte le gradazioni di questo colore , si estendono da 77 a $77\frac{1}{8}$, quelli degli aranci da $77\frac{1}{8}$ a $77\frac{1}{6}$, gli altri dei gialli da $77\frac{1}{6}$ a $77\frac{1}{4}$, e così in appresso per i raggi verdi , azzurri , indaco e violetti.

1006. Per conoscere NEWTON se i diversi raggi componenti lo spettro variamente refrangibili fossero egualmente riflessibili , fece entrare in una camera oscura un fascio di luce solare espresso da SF (Tav. 14 fig. 3) , perpendicolarmente sulla faccia AB di un primo prisma ABC , i di cui angoli B , C , erano ognuno di 45° . Una parte della luce entrata nel prisma giunta in D si riflettè (§. 973) , ed emergendo perpendicolarmente a CA presentò al raggio DG un altro prisma H ; ed attesa l'obliqua incidenza sulla faccia di ingresso G avvenne la decomposizione , e lo spettro rigettato verso la base si

dipinse in E su di un cartone bianco. Giunta in D l'altra parte della luce, refrangendosi dipinse un secondo spettro sul cartone I. E girando lentamente il prisma ABC sul proprio asse in modo da diminnire l'angolo d'incidenza BDF ed accrescere la riflessione sulla faccia AC, osservò che il color violetto dello spettro E si rendeva più intenso, mentre il corrispondente colore dello spettro I mancava affatto. Proseguendo a girare il prisma ABC mancarono successivamente tutti i colori intermedi dello spettro I, mentre ravvivavansi quelli dello spettro E, e l'ultimo a riflettersi totalmente in D fu il raggio rosso, talchè mentre lo spettro I disparve all'intutto l'altro E ne fu rafforzato. Da questo esperimento il dotto osservatore conchiuse che i raggi della luce bianca non solo sono forniti di diversa refrangibilità, ma anche di diversa attitudine a riflettersi, essendo il violetto più refrangibile anche il più riflessibile, i rossi gli ultimi a riflettersi perchè meno refrangibili, e gli altri intermedi riflessibili secondo il grado di loro refrangibilità (1).

1007. Il dirsi colorati i raggi principali dello spettro non importa d'esser alcuni di essi tinti in rosso, altri in arancio, ed altri in giallo; ma l'esser disposti in modo da produrre in noi le diverse sensazioni dei cennati colori. Onde il notarsi per sette i colori principali della luce bianca equivale all'avvertirsi diverse specie di raggi, cioè alcuni capaci di produrre in noi la impressione del rosso, e che diconsi raggi rossi; altri capaci di eccitare in noi l'impressione dell'arancio, e

(1) NEWTON, *Optice lucis*, lib. 1 pag. 1 exper. 9.

che chiamansi raggi aranci, e così in appresso. I raggi dunque della luce solare diversificano tra loro non solo per i varii gradi di refrangibilità e di riflessibilità, ma anche per le diverse impressioni che fanno sull'organo della vista.

1008. **HERSCHEL** il primo avvertì ne' diversi raggi prismatici una varia facoltà illuminante. Facendo cadere successivamente sulla pagina di un libro parti eguali di ciascun colore primitivo, vide di non esserne egualmente illuminata, e di doversi mettere a distanze ineguali per leggerla distintamente. Quindi scoprì 1.° che il massimo potere illuminante è nei raggi vicini al mezzo dello spettro; 2.° che negli estremi di questo il potere era minimo; 3.° che dai violetti si aumenta progressivamente sino al principio dei gialli, e da questi successivamente decresce sino ai rossi, onde la facoltà illuminante corrisponde in ogni colore alla sua distanza dal punto medio dello spettro; 4.° e che i raggi gialli sono i medii non di sito, ma di splendore.

1009. La dottrina newtoniana si è impagnata in Germania da **GÖTTE**. Negando questo la composizione della luce sostiene non esservi altro che luce bianca, e non essere il nero che privazione di luce (1). I colori del prisma non sono secondo lui che varie sovrapposizione del nero sul bianco e di questo su quello. Così il bianco sovrapposto al nero produce il celeste, e passeggiando sul nero genera secondo la diversità del cammino il paonazzo; il nero apposto al bianco produce il giallo,

(1) **VON GÖTTE** *Optik Tübingen* 1807.

e secondo il vario cammino l'arancio ed il rosso; e tale cammino e produzione di colori derivano da una occulta potenza del prisma. Le ragioni però dall'autore addotte e gli esperimenti da lui istituiti in sostegno della sua opinione sono stati unanimamente riprovati dopo la dovuta discussione. Dubitano solo alcuni fisici del numero dei colori costituenti la luce bianca. WÜNSCH da Francfort, PRIEUR e PETRINI inseriscono da delicati esperimenti all'uopo istituiti di non esserne sette, nè quattro, come pretendono WOLLASTON e WEISS (1), i colori primitivi ma tre, il rosso cioè, il verde ed il violetto. Scomposti infatti da WÜNSCH i colori indecomponibili per NEWTON, ha trovato di produrre l'indaco una immagine porporina terminata superiormente da un violetto pieno ed inferiormente da un verde languido; di dare l'azzurro una immagine torchina terminata dal violetto e dal verde; il giallo una immagine gialla terminata da un verde pallido e dal rosso-chiaro; l'arancio una immagine ranciata terminata da un verde pallido e dal rosso. Onde sostiene che lo spettro solare costa di tre spettri od immagini allungate di tre colori fondamentali. Ed essendo secondo WÜNSCH non solo i raggi di ogni colore variamente refrangibili, ma anche una parte della luce violetta meno refrangibile di quella della verde, ed una parte di questa più refrangibile di quella della rossa; le tre immagini gradatamente tra esse si sovrappongono e si frastagliano. Gli estremi quindi dello spettro sono occupati dal violetto e dal rosso, il mezzo dal verde, e tutti gli altri colori risultano dalla

(1) *Bibl. Brit.* t. 36 e 37.

soprapposizione e confusione del rosso e del verde, o di questo e del violetto. Benchè il dottor YOUNG ritenga anch' egli per colori indecomponibili il rosso, il verde, ed il violetto, e per risultanti dalla loro varia miscela gli altri colori prismatici (1), pure BREWSTER (2) ha riprodotto l' antica opinione di TOBIA MAYER (3) sui tre colori indecomponibili, rosso, giallo e blu. Opina BREWSTER che questi tre semplici colori insieme riuniti costituiscono la luce bianca, e che risulti lo spettro solare dalla soprapposizione e miscela di tre altri spettri egualmente lunghi uno rosso, un altro giallo ed un altro blu. In ognuno di questi spettri differisce ne' diversi punti l'intensità del color de' raggi, onde risulter ne possono i varii colori che distinguonsi nello spettro prismatico e che sono tutti composti, risultando ognuno dall' unione della luce rossa, gialla e blu in diverse proporzioni. Ma non tutti i colori creduti semplici da BREWSTER si sono trovati tali o separati in qualunque punto dello spettro, non avendo potuto trovare egli stesso il color giallo nello spazio violetto. È questa mancanza sì importante da rendere la sua opinione più incerta delle precedenti.

1010. Fin qui della decomposizione della luce solare per mezzo del prisma. Ma anche quella prodotta

(1) *Lectures on natur. philosophy*. p. 439.

(2) *Nuova analisi della luce indicante tre colori prismatici che formano spettri coincidenti di eguale lunghezza*, memoria inserita nelle *Transazioni di Edimburgo*, e per estratto nella *Bibl. Univers.* Giugno 1832 p. 147.

(3) *Comm. de affinitate colorum* in opp. ined. Gottinga 1775

dalla fiamma della combustione si è analizzata dai Fisici, e specialmente da **HERSCHEL** e **FRAUNHOFER**. Osservando col prisma le diverse luci prodotte dalle varie combustioni, si trova che tutte contengono dei raggi semplici dello spettro solare, senza che però alcuna di esse produca l'intero spettro. Il colore di queste fiamme è, in generale, quello che domina nel loro spettro. **BREWSTER** ha trovato una sola fiamma *mono-cromatica* nella combustione di un pezzo di spugna inzuppata di alcool diluito con acqua salata.

1011. Avendo **FRAUNHOFER** osservato lo spettro solare attraverso un apparato d'ingrandimento nel senso della lunghezza, vi ha scorto dei nastri o linee brune, cioè più cupe del rimanente, ed alcune di esse affatto nere. È giunto a numerarne 574, costanti nei medesimi luoghi per la stessa specie di luce, benchè differenti fosse la materia o l'angolo del prisma; appaiono solo più o meno deboli; spariscono se l'angolo d'incidenza è troppo grande o troppo piccolo. L'illustre Prof. **ZANTEDESCHI** nella tornata del 10 agosto 1846 assicurava all'I. R. Istituto Veneto (1), che ripetendo gli esperimenti del **FRAUNHOFER** sulle linee nere e luminose dello spettro solare con un apparato di proiezione, avea osservato che oltre alle linee nere e luminose parallele fra esse e normali alla lunghezza dello spettro, esistono anche delle linee nere e luminose parallele parimenti fra esse e longitudinali, ossia dirette nel senso della lunghezza dello spettro solare. Una delle interessanti conseguenze a cui egli è pervenuto, si è

(1) V. *Raccolta Fisico-Chimica Italiana* t. 1. p. 373.

che lo stato atmosferico influisce sulla posizione, sul numero, sulla grandezza e forza delle linee longitudinali e trasversali (1). Analizzate da **FRAUNHOFER** collo stesso apparato la luce elettrica, quella di una lucerna ad olio, quella di Venere e della stella Sirio, ha trovato gli spettri sensibilmente differenti nelle dette righe (2). È probabile che queste osservazioni, che sembrano a prima vista di poco o niun interesse, condurranno un tempo ad importanti conclusioni, specialmente sul modo di svilupparsi la luce dai corpi celesti per loro stessi luminosi.

1012. I raggi prismatici differiscono tra loro non solo per la refrangibilità e riflessibilità e pel potere illuminante, ma anche per l'intensità della forza calorifica. Facendo cadere **HERSCHEL** successivamente sullo stesso termometro colle dovute cautele i raggi primitivi, verificò l'osservato da **ROCHON** nel 1775, che il raggio rosso cioè riscalda più, ed il violetto meno di ogni altro raggio; che per questa proprietà vi è tra essi il rapporto di 7 a 2, e che il massimo effetto è prodotto dai raggi calorifici invisibili esistenti fuori lo spettro lucido alla distanza di un mezzo pollice inglese dalla parte

(1) Tutti i dettagli offerti al dotto Fisico italiano nel corso di questi suoi esperimenti, i quali saranno esposti in una sua speciale Memoria, che l'autore ci lascia tuttora desiderare, lo inducono ad ammettere i descritti fenomeni come effetti d'inflexione e d'interferenza che si legano necessariamente alla grandezza dell'apertura del porta-luco ed allo stato dell'atmosfera.

(2) **GILBERT** *Annalen der Physik* t. 74 — *Biblioteca Germanica* t. 1. p. 242, e t. 6 p. 324

del color rosso (Tav. 13 fig. 12). Prova questo fatto che i raggi calorifici non hanno la stessa forza refrangente dei luminosi ; onde produconsi due spettri il calorifico ed il luminoso, il primo più allungato e quindi non coincidente col secondo. I più densi raggi calorifici sentendo meno degli altri la forza refrangente cadono al di là de' raggi meno refrangibili, ossia dei rossi; mentre i violetti come più refrangibili cadono nel luogo ove giungono i calorifici meno concentrati.

1013. I risultati degli esperimenti istituiti da altri Fisici sono alquanto diversi. LANDRIANI ritrovò la massima temperatura nel raggio giallo ; ROCUON nell'arancio ; notò SENEBIER di essere il rosso sempre più caldo del violetto , ma talora meno del giallo ; non rinvenne LESLIE differenza di temperatura nè al di sotto, nè al di sopra dello spettro, e ne ripose il massimo grado precisamente nel rosso; confermò ENGLEFIELD i risultati di HERSCHEL ; opinò BERARD di essere il calor massimo sull' esterno limite del rosso , e di non elevarsi su di questo che di un quinto alla distanza di un mezzo pollice inglese. Ricercata da SEEBECK la causa di tanta discrepanza (1) la rinvenne nei metodi degli sperimentatori, e nella diversità degli strumenti, variando gli effetti colla forza rifrangente di questi. Provò egli infatti essere la regione più calda dello spettro fuori del raggio rosso quando il prisma è di flint-glass-inglese, nel raggio istesso quando è di crown-glass o di vetro ordinario, e nei raggi gialli quando al prisma solido si sostituisce

(1) *Atti della Reale Accademia delle Scienze di Berlino* per l'anno 1818-19 p. 303.

uno vuoto o di lastra di vetro , e ripieno di acqua , di alcool, o di essenza di trementina (1). Il sal gemma però in mano dell' illustre Prof. MELLONI , come altrove , anche su questo argomento è stato fecondo delle più utili conseguenze. Egli infatti ha provato che quanto più il corpo è diatermano , tanto più il massimo di calore si allontana dal giallo, e si porta verso il rosso : con un prisma di sal-gemma questo massimo è molto al di là del rosso. Facendosi poi passare lo spettro formato dal sal-gemma per uno strato di acqua contenuto fra due lamine parallele di vetro, il massimo si ravvicina al color rosso , e penetra nello spettro col crescere della grossezza dello strato ; talchè quando questa spessezza è di 300 millimetri , il massimo del calore si trova nel color giallo. Studiando MELLONI la posizione del massimo di calore nello spettro prodotto costantemente dallo stesso prisma di sal-gemma, ha trovato che questa posizione non si prolunga sempre nello spazio oscuro al di là del limite rosso dello spettro. Le differenze di posizione di questo massimo sembrano indipendenti dalla serenità del cielo e dalla trasmissione del calore nell'aria. Parrebbe che i raggi calorifici soffrissero un assorbimento dall' aria , che sarebbe diverso secondo le circostanze dell' aria stessa. Potrebbe anche supporre che queste differenze dipendessero dallo stato della sorgente. Non è certamente impossibile che l'azione qualunque che produce la luce solare , non vada soggetta a delle variazioni : anche gli effetti chimici , dei quali ora si

(1) *Bibl. Univ.* t. 25 p. 174 — *Edinburgh's jour of sci.* by BREWSTER , t. 1 p. 358.

terrà discorso, sembrano soggetti a differenze, di cui la cagione non può trovarsi che in una modificazione dei raggi solari.

1014. Tra gli effetti della luce si nota l'azione chimica che essa esercita in varie guise. La combinazione del gas eloro col gas ossido di carbonio; il cangiamento del cloro sciolto nell'acqua in acido cloridrico per la sua combinazione coll'idrogeno della medesima; l'alterazione di colore del cloruro di argento; il cambiamento di direzione dei cristalli di talune cristallizzazioni, ed altri fenomeni chimici provano questa influenza. La luce solare altera sensibilmente il colore della pelle umana, e ritarda il germogliamento de' semi. Le piante inoltre rivolgendosi verso la luce solare od artificiale, quasi la ricercano; esposte ai raggi solari diretti o riflessi vegetano più vigorosamente, decompongono l'acido carbonico, esalano il gas ossigeno, e si coloriscono; a differenza di quelle che tenute all'oscuro diventano cachetiche e malsane, ed analizzate presentano un eccesso di acqua e di sostanza zuccherina. In questa azione han luogo dei fenomeni chimici, come le recenti osservazioni dei signori MORREN mettono fuori dubbio. Secondo questi Fisiologi il color verde di talune acque stagnanti, che varia nelle diverse ore del giorno, sarebbe dovuto all'azione della luce sui piccoli animalletti infusorii in quelle contenuti. Queste osservazioni sono tanto più interessanti, in quanto che mostrano una nuova analogia fra i vegetabili e gli infusorii, che sono gli ultimi della serie animale. Sotto l'azione della luce questi animalletti inverdirebbero sviluppando ossigeno e scomponendo l'acido carbonico, ed il contrario opere-

rebbero di notte. È quest' azione analoga alla respirazione delle piante.

1015. Come però non tutti i raggi illuminano o riscaldano egualmente, così non tutti esercitano la loro chimica influenza colla stessa energia. Se la forza calorifica dello spettro prismatico è più vigorosa dalla parte dei raggi rossi, la chimica lo è dalla parte dei violetti (Tav. 43 fig. 12). Tanto provano gli esperimenti di SCHEELÉ e di WOLLASTON , il primo de' quali conobbe annerirsi il cloruro d'argento più prontamente quando è esposto ai raggi violetti dello spettro solare, che quando lo è ad ogn'altro colore; riconobbe il secondo di prodursi quest'alterazione in egual grado anche al di fuori dello spettro sino ad una distanza eguale alla larghezza della striscia violetta. RITTER inoltre notò che il fosforo posto presso la striscia rossa tramanda immediatamente de' vapori bianchi, cessa di tramandarli e si estingue trasportato presso la striscia pavonazza. WOLLASTON avvertì che la resina di guajaco diviene verde nel raggio violetto, assorbendo gas ossigeno. E SEEBECK e BERARDIAN notato che un miscuglio di gas idrogeno e di gas cloro esposto all' azione dei raggi violetti s' infiamma , il che non si produce da alcun' altra parte dello spettro. Tutti questi fatti provano nell'irradiazione solare l'esistenza di un agente principale il quale prende parte in molti cambiamenti di aggregazione, intestini o superficiali, dei tre regni della natura, detto *irradiazione chimica*, ed a cui il Prof. W. DRAPER di Nuova York dà il nome di *raggi litonici*.

1016. La signora SOMMERVILLE e poi BIOT investigando l'influenza che l'irradiazione atmosferica esercita in

certi fenomeni chimici, hanno osservato che taluni corpi solidi dotati di una perfetta trasparenza hanno la proprietà di ritardare l'azione chimica della luce; proprietà che il Dot. MALAGUTI ha riconosciuto ancora in molti liquidi. Variati ed ampliati questi esperimenti da EDMONDO BECQUEREL, da BIOT, e da DRAPER, sono stati essi condotti ad ammettere una eterogeneità nello spettro dei raggi chimici, e specialità nel loro modo di agire, e secondo la natura dei diversi corpi (1).

4017. L'azione chimica dei raggi meno refrangibili dello spettro non si mostra che quando è stata già cominciata dalla luce bianca, o dai raggi più refrangibili. BECQUEREL figlio ha visto annerire una carta tinta col bromuro di argento esponendola ai raggi rossi, purchè questa carta sia stata prima per pochi istanti esposta alla luce diffusa od ai raggi violetti. Egli quindi distingue due specie di raggi chimici, gli uni, posti nella parte più refrangibile dello spettro, sono i *raggi chimici eccitatori*, e gli altri semplicemente *continuatori*, che si trovano nella parte meno refrangibile dello spettro. Facendo passare la luce prima che incontri le carte tinte di bromuro o di cloruro di argento, attraverso di vetri di diverso colore, si osserva che alcuni di questi lasciano passare i raggi continuatori, ed altri i raggi eccitatori. Alcuni sperimenti recentemente fatti in Inghilterra, ed altri del benemerito Prof. MAJOCCHI, tendono a provare che anche i raggi calorifici, e lo stesso calore condotto, possono continuare l'azione chimica.

4018. L'azione della luce sul cloruro di argento ha

(1) MAJOCCHI. *Ann. di Fis. Chim.* cc. Vol. 5 p. 213.

dato origine alla *Fotografia*, all'arte cioè che fa disegnare dai raggi stessi riflessi le immagini degli oggetti illuminati dal sole. I *disegni fotogenici* costituiscono una delle più importanti scoperte pratiche di questi ultimi tempi, dovuta alle fatiche di NIEPCE e di DAGUERRE. Il processo col quale questi due uomini pazientissimi ed ingegnosi son giunti ad avere il disegno di un oggetto qualunque ed a fissarlo, consiste nel coprire di uno strato sottilissimo di iodio una lamina di argento ben brunita (1). A tale oggetto la si mette in una scatola, nel fondo della quale vi è una capsula col iodio, ed il di cui vapore fa prendere alla superficie metallica una tinta gialla d'oro. Così preparata, e difesa con apposita custodia dall'influenza della luce, si porta immediatamente nel campo del noto apparato detto *camera oscura*, collocandovela in modo che su di essa vadano a dipingersi le immagini di quegli oggetti esterni, de' quali vuol trarsi il disegno. Ivi si lascia per pochi minuti, onde permettere che le parti illuminate della immagine, che sono necessariamente quelle dell'oggetto, agendo sullo strato giallo prodotto dal iodio si disegninno da loro stesse; operazione la quale è compiuta fra 4 a 20 minuti, secondo la stagione e lo stato più o meno puro dell'atmosfera. Quindi la si estrae, e sempre al buio, si mette sollecitamente, inclinata di 45° , in un altro apparato, nel di cui fondo vi è del mercurio. Scaldasi questo sino al 75° C., ed il vapore mercuriale che si produce giun-

(1) Ordinariamente si usa il *placé*, il quale non è che una lamina di rame coperta di un'altra sottilissima di argento, che vi aderisce per l'azione del laminatoio.

gendo sulla lamina (sulla quale sino a tal punto nulla apparisce di disegno) vi produce in pochi minuti dei tratti in chiaro-scuro, i quali formano la copia perfettissima dell' immagine istessa rappresentata nella camera oscura. Ciò compiuto, si toglie la lamina dalla scatola a mercurio, e la si tuffa nella soluzione fredda di iposolfito di soda, e quindi nell' acqua distillata riscaldata di circa 70° C. Esponendo CLAUDET la lamina preventivamente iodata al vapore del cloruro di iodio contenuto in un' ampolla a larga apertura, giunse a sostituire ai minuti primi i secondi per quel che sia relativo all' esposizione nella camera oscura; e la confezione dei ritratti acquistò per tale interessante scoperta un' alto grado di perfezionamento. Al cloruro di iodio posteriormente si sono con vantaggio sostituiti l' acqua bromata, il bromuro di iodio, il ioduro di bromo, ed il cloro-bromuro di iodio, che diconsi perciò *sostanze acceleratrici* (1).

4019. Quando la lamina forbita si assoggetta al vapore del iodio, la sua superficie si copre interamente di ioduro di argento. Esponendola poi al foco della camera oscura, le parti illuminate della immagine, che sono necessariamente quelle dell' oggetto, scompaiono o volatilizzano questo composto, e tanto più in cer-

(1) Per l' ulteriore dettaglio di questo processo, e per le varie modificazioni recatevi, si consulti il *Tratto pratico di Fotografia* ec. di GAUDIN, Torino 1845: le *Nouvelles instructions sur l' usage du Daguerreotype* etc. di CHEVALIER, Paris 1841: le *Melanges Photographiques* etc. dello stesso, Paris 1844: ed il *Traité de Photographie* di LEREBOURS, Paris 1843.

ti punti in cui la luce è più viva. Sottoponendo la lastra in questo stato al vapore del mercurio, si depone questo combinandosi all'argento in tutti quei punti, che per l'azione delle parti più luminose della immagine erano rimasti senza iodo, e quindi allo scoperto. Le lavande di iposolfito di soda tolgono ogni traccia di giallo, restando un disegno a chiaro-scuro, che più non soffre alcuna azione esposto alla luce. L'amalgama di argento forma le tinte chiare, le quali appariscono tanto men chiare quanto meno è stata scoperta la superficie dell'argento per l'azione della luce; sono questi i punti poco amalgamati a cui corrispondono le mezze tinte. Nei punti in cui, dopo i lavacri, è rimasto il solo argento, e su cui il mercurio non ha agito perchè difesi dal iodio, appariscono le tinte scure (1).

1020. Senza bisogno dell'apparato di **DAGUERRE**, e con maggiore semplicità si ottengono parimenti dei disegni mediante le carte fotogeniche di **TALBOT**, dette ancora *carte calotype*. Bagnasi all'uopo la carta prima colla soluzione di nitrato d'argento, e poi con quella di cloruro, di iodio, o di bromuro di iodio: si depone così sulla sua superficie uno strato di cloruro, di ioduro, o di bromuro d'argento, che si annera immantinenti alla luce solare, e

(1) Contro questa generale opinione di riguardare le immagini fotografiche, tendono le recenti ricerche ai **CHOISELAT** e **RAVEL**. Mediante considerazioni puramente chimiche essi cercano di mostrare, che il bianco è formato da goccioline di amalgama di argento formata e depositata sulla superficie, ed il nero dal forbimento del metallo, e da una polvere di argento e mercurio. **V. MAJOCCHI Annali di Fisica, Chimica, ec., Milano 1844 vol. 16 p. 34.**

che perciò riceve il disegno esponendola al foco della camera ottica. Quando l'immagine è disegnata, si lava con una soluzione concentrata di cloruro sodico (sal-marino), per ispogiarla del cloruro, del ioduro, o del bromuro d'argento eccedente; giacchè senza ciò tutto in seguito annerirebbe. È da notarsi che in queste carte fotografiche le tinte oscure dell'oggetto o dell'immagine essendo le parti prive di luce, corrispondono nel disegno alle parti bianche non alterate; mentre le parti nere del disegno son quelle in cui la luce ha maggiormente agito, e quindi le più illuminate dell'oggetto.

4024. Di queste lamine colorate si è servito il Prof. MELLONI per determinare nello spettro solare il luogo della massima azione chimica, e l'estensione dello *spettro chimico* (§. 4015). L'effetto chimico dei raggi ha un limite insormontabile; onde non il maggiore, ma il più pronto effetto deve indicare la massima azione: così egli l'ha rinvenuta nell'indaco presso al violetto. Prolungando il tempo dell'azione finchè lo spettro chimico non cresca ulteriormente, ne ha stabilito i termini, l'inferiore verso la metà dell'azzurro, ed il superiore nello spazio scuro a distanza dall'estremità violacea quasi uguale a quella del verde azzurrino. Quindi egli con tre curve (Tav. 23 fig. 7) presenta le costruzioni grafiche delle varie energie di azione chimica, di luce, e di calorico nello spettro solare.

4022. Non è da trasandarsi un'altro fenomeno singolare della luce, il quale sembra esser vario nei diversi elementi dello spettro. Sonovi de'corpi, i quali esposti per poco tempo alla luce divengono *fosforescenti* nel buio (§. 893). Questa proprietà fu rinvenuta la prima

volta nel così detto fosforo di Bologna, il quale si ottiene cimentando ad un'alta temperatura lo spato pesante (solfato baritico) col carbone. Posteriormente si è conosciuto che il solfuro di calcio è parimenti *fosforescente per insolazione*; e che i gusci d'ostrica calcinati con lo zolfo, esposti per pochi minuti al sole emettono una luce verde molto viva. Si è dimostrato da GROTHUS che i raggi violetti dello spettro sono quelli che maggiormente eccitano la fosforescenza, meno di tutti i rossi. Le interessanti esperienze di BECQUEREL sulla fosforescenza eccitata dalla luce elettrica menano alla medesima conseguenza. Eccita questa luce la fosforescenza per una specie di irraggiamento, e non già per l'urto prodotto dal passaggio della stessa elettricità. Di fatti la scintilla elettrica produce la fosforescenza anche a distanza, anche attraverso dei diaframmi. Se il diaframma è un vetro rosso, giallo, verde, la fosforescenza è appena sensibile; all'opposto è al massimo con un vetro violetto, e maggiore che con un vetro bianco. Provano questi fatti che i raggi luminosi eccitanti la fosforescenza, non sono nè i calorifici, nè i chimici. Non sono i calorifici giacchè in questa ipotesi dovrebbero il massimo effetto produrre dai raggi rossi; neanche sono i raggi chimici, giacchè la luce intensissima del fosforo in ignizione, la quale è capace di una grande azione chimica, non eccita in modo sensibile la fosforescenza.

1023. Il Dottor MONICCHI, professore di Chimica in Roma, ha riconosciuto nel 1843 (1) un'altra proprietà del raggio violetto dello spettro, quella cioè di eccitare

(1) *An. des Physick*, t. 46. von Gilbert.

nelle sbarre d'acciaio la forza magnetica. Non verificata dal professore **CONFIGLIACCHI** di Pavia, nè da **BERARD** di Montpellier, fu comprovata nel 1826 dalla ingegnosa madama **SOMMERVILLE**. Esponendo al sole alcune sbarre d'acciaio fasciate in parte di nastri color violetto, le magnetizzò sensibilmente. **BAUMGARTNER** di Vienna assicurò di aver magnetizzato gli aghi colla luce bianca (1). E quantunque ripeta **SEEBECK** questa proprietà dall'alterazione di temperatura che in tal modo le sbarre soffrono, pure le recenti ricerche de' valenti Italiani **BARLOCCI** e **ZANTEDESCHI** dimostrando la decisa influenza della luce sul magnetismo provano ch'essa può anche in qualche modo eccitarla.

CAPITOLO VIII.

DELL' ACROMATISMO.

1024. È decomponibile la luce ne' suoi colori componenti non solo dal prisma, ma anche dai cristalli conformati a facce convenevolmente inclinate e da lenti molto convesse. Riguardandosi queste infatti come tanti prismi circolari, i fasci di luce A e B (Tav. 14 fig. 4) dopo essersi refratti in C ed in D si scompongono nei raggi CG, CH, CI, e DK, DL, DM. . . , de' quali CG, e DK rappresentano il violetto che è il più refrangibile; CI, DM il rosso che meno di tutti si refrange; CH, DL il verde dotato di una media refrangibilità; e così degli altri a questi intermedi. Si forma quindi così una

(1) *An. de Chim. et de Phys.* t. 33. p. 333.

serie di sette diversi fochi corrispondenti ai sette diversi colori. Si uniscono in *a* coll'asse EF i raggi violetti, in *b* i verdi, in *c* i rossi, e si concentrano gli altri tra questi secondo l'ordine della loro refrangibilità; risultandone altrettante immagini sovrapposte e diversamente colorate dello stesso oggetto, che comparisce in conseguenza confuso ed indeterminato. Cresce poi questo difetto dal centro agli orli dell'immagine, che apparendo tutta orlata di colori simili a quei dell'iride, vedesi dall'occhio situato in *a* fregiata nel lembo di color rosso pei raggi rossi *Cd*, *De*; in *b* orlata nell'esterno di violetto pei raggi *Cg*, *Df*, e così di seguito. Derivando questa confusione dalla diversa refrangibilità de' raggi componenti la luce bianca, chiamasi *abberrazione di refrangibilità*. Turbando essa la nettezza delle immagini, molto imperfetti rende gli strumenti diottrici.

1025. Essendosi per molto tempo creduto di non potersi deviare la luce senza decomporla, lo stesso NEWTON credè questo inconveniente senza rimedio. Ma riconosciuta erronea questa opinione dopo la discussione fattane dai più valenti Geometri, come EULERO, CLAIRAUT, D'ALEMBERT; l'ottico Inglese GIOVANNI DOLLOND scoprì il primo nel 1757 il mezzo di conservare nei prismi e nelle lenti il potere rifrangente, e di distruggere quello decomponente la luce. A questo importante ritrovato dassi il nome di *acromatismo*, ossia privazione di colori, agevolando la costruzione delle *lenti acromatiche*, di quelle cioè, che mentre conservano le tinte naturali degli oggetti distruggono gli effetti dell'abberrazione di sfericità.

1026. Per formarsi una giusta idea dell'acromatismo

vuolsi avvertire che un raggio luminoso direttamente proveniente dal sole comparisce senza colori per propagarsi tra di loro paralleli i suoi elementi diversamente refrangibili, e giungere tutti insieme nell'occhio; ma quando esso attraversa un prisma triangolare si decompone in parti colorate, distruggendosi dalla refrazione il parallelismo di queste. Colla costruzione di un prisma acromatico si riproduce questo parallelismo senza togliersi in generale la deviazione del raggio. Supposto all'uopo caduto sul prisma ABC (Tav. 14 fig. 5) il raggio di luce bianca EF, che si scompone nelle sue parti colorate; congiungendosi un'altro prisma ABD di materia egualmente rifrangente talchè gli angoli rifrangenti siano reciprocamente opposti, cioè formino il parallelepipedo DC; è chiaro che se il primo prisma rifrange e decompone il raggio EF, dee produrre il secondo un contrario effetto. Deviandosi da essi il raggio in opposte direzioni, dev'esso emergere bianco, cioè ricomposto, e dirigersi per la linea GH parallela alla sua primiera direzione EF. Ma se il secondo prisma ABD ha una forza rifrangente maggiore di ABC, il raggio emergerà anche bianco, ma nella direzione IK, che fa un angolo colla primitiva.

4027. Con questi principii si costruiscono le lenti acromatiche. Dovendosi far uso di materie dotate di varia forza rifrangente per conservare il potere convergente delle lenti biconvesse, si scelgono all'uopo il vetro senza piombo detto dagli Inglesi *flint-glas* ed il vetro abbondante di ossido di piombo da essi chiamato *crown-glas*. Costano le lenti acromatiche di due o tre lenti; nel primo caso la prima AB (Tav. 14 fig. 6) bicon-

vessa di crown s'incasta esattamente nell'altra di flint CD piano-concava o biconcava, e nel secondo caso la lente biconcava di flint CD (Tav. 14 fig. 7) s'incasta colle due biconvesse di crown AB, EF, talchè delle tre lenti risulti una doppiamente convessa AEFB. Costino esse però di due o tre lenti, soddisfano sempre alla richiesta condizione, di rinnersi cioè tutti in un foco i raggi colorati emergenti. Cadendo infatti il raggio GL perpendicolare non si rifrange e prosiegue a camminare per DH, mentre KI parallelo al primo si decompone in modo che Ia è la direzione de' raggi violetti ed Ib quella de' rossi. Passando poi questi due raggi nella lente biconcava CD di flint, la loro dispersione è più forte, onde deviano dall'asse GH più di quello che se gli erano avvicinati per la prima refrazione nel crown. Il violetto quindi Ia prendendo la direzione *ad*, ed il rosso Ib la *bc*, si trova al di fuori di questo dopo d'averlo intersecato. Entrando infine il violetto ed il rosso da *d* e *c* nella lente biconvessa di crown, quello n'è più di questo refratto, si uniscono entrambi nel punto H dell'asse, e si descrive così l'immagine senza colori. Benchè il punto H sia il foco comune de' raggi rosso, verde e violetto, che sono gli estremi ed il medio, onde restano le aberrazioni de' colori intermedi; pure essendo queste piccole e trovandosi quasi ascose nella esatta coincidenza del rosso e del violetto si rendono insensibili.

4028. È dunque chiaro di costruirsi le lenti acromatiche coi principii del prisma acromatico (§. 4026). Si collocano in questo i prismi in opposto senso, e si unisce in quelle alla lente convessa la concava, convergen-

do l'una e divergendo l'altra i raggi, e seguendo la dispersione in contraria direzione, che l'abberrazione corregge di refrangibilità.

CAPITOLO IX.

DEGLI ANELLI COLORATI, E DE' COLORI PERMANENTI ED ACCIDENTALI DE' CORPI.

1029. Molti corpi opachi compariscono sempre dello stesso colore comunque si guardino, ed altri cangiano di colore col cangiar l'occhio di posizione. Lo stesso avviene pei corpi trasparenti; alcuni, come i vetri colorati, appariscono dello stesso colore veduti per luce riflessa o refratta; ed altri, come molte infusioni vegetabili, cangiano di colore secondochè si guardano per riflessione o per refrazione. Questi fenomeni al pari di quei de' colori dipendono originariamente dalla luce, scomparendo tutti nel buio; ma qualora si rammenti ciocchè si è detto de' colori considerati nella luce, e si rifletta che le varie impressioni prodotte sull'occhio da ciò che dicesi rosso, giallo, verde, sono l'effetto delle diverse qualità de' raggi, non possonsi ripetere gli indicati fenomeni de' colori de' corpi che dalla particolare disposizione di ciascuno di questi a riflettere la luce.

1030. Quando son' essi disposti in modo da rinviare qualunque specie di raggi e nello stato di miscela in cui vi giungono, i corpi ci sembrano bianchi, onde lungi dall'essere il bianco un colore particolare non è che la riunione di tutti i colori. Ma se il corpo è disposto a riflettere una sola specie di raggi rifrangendo od assor-

bendo le altre, mostrar deve la tinta del raggio riflesso, onde i corpi rossi, celesti verdi ec. son quelli che riflettono i raggi rossi, celesti, verdi ec. estinguendo qualunque altra specie di raggi. Se un corpo è capace di riflettere ad un tempo diversi raggi, mostrar devesi di quel colore che per la loro simultanea azione si produce nell'occhio, onde risulta da tutti i raggi riflessi un color medio. Un corpo per esempio, che ad un tempo colpisce l'occhio di luce rossa ed azzurra, comparisce violetto, e così in appresso. Dalla simultanea azione di diversi raggi colorati e dalla varia proporzione delle loro quantità tutti gli innumerabili colori medii derivano e l'immensa varietà delle loro gradazioni; e coi sette primarii colori dello spettro si dà facilmente ragione della sorprendente varietà delle tinte che tanto diletta e ricrea la nostra vista. Quando infine un corpo assorbe quasi tutta la luce che sopra vi cade, e manda all'occhio sì pochi raggi riflessi da non produrre una determinata sensazione di colore, rendendosi quasi invisibile, chiamasi *nero*. Il nero dunque non è colore, ma la privazione di ogni colore; ed i corpi neri non sono discernibili che in quanto interrompono in qualche modo lo splendore dello spazio circostante.

1031. Perchè un corpo rifletta piuttosto una che un'altra specie di raggi non può essere questo che l'effetto d'una causa in esso esistente. Varii mezzi sono impiegati per scoprirla, e varie ipotesi si sono immaginate sulla sua natura. Newton però avendo all'uopo istituito varii sperimenti, ha ottenuto dei risultati capaci di contentare ogni mente ragionevole (1).

(1) *Optics lucis*, lib. II pars 1.

ARTICOLO I.

DEGLI ANELLI COLORATI.

1032. Diversi colori sviluppansi dalla luce bianca non solo per refrazione, ma anche per riflessione. Le molecole luminose subiscono due specie di riflessione, una detta *speculare* fuori del corpo riflettente, senza distinzione di particelle, talchè se la luce incidente è per esempio bianca il raggio riflesso è bianco; e l'altra nello stesso corpo, la quale trasportando le sole molecole di luce componenti la tinta propria del corpo medesimo, le diffonde in ogni senso quasi per irraggiamento.

1033. Non contento NEWTON di aver osservato la luce così decomposta nelle bolle di sapone, ne' vetri gonfiati dalla lucerna, nell'oglio sull'acqua, nella mica, nel carbonato e solfato di calce cristallizzati ed altrove; per osservarne i dettagli trasse i colori dalla luce decomposta nei sottili strati acrei compresi tra due vetri. Posta sulla faccia piana di una lente egualmente ampia e piano-convessa CD, un'altra biconvessa AB (Tav. 14 fig. 8) della sfericità di un diametro assai grande, cioè di uno o due piedi Inglesi; strinse alquanto l'una contro l'altra. Fatto poi cadere sulla lente superiore il raggio EF sotto un'angolo d'incidenza di circa 4° , situò l'occhio a perpendicolo alla distanza di otto pollici dal vetro per ricevere solo la luce GO riflessa dalla lamina d'aria posta tra le due lenti, e non la FH, che si riflette sulla superficie superiore di AB (1).

(1) Giova situare le lenti su di un corpo nero per impe-

Così vide egli nel punto di contatto delle due lenti una macchia nera trasparente, cinta in varie distanze da cerchi od anelli colorati, alternati con altri anelli scuri concentrici.

4034. Or gli anelli, che diminuiscono di vivacità a misura che si allontanano dal centro, si succedono nell'ordine seguente: 1.° celeste, bianco, giallo, rosso; 2.° paonazzo, celeste, verde, giallo, rosso; 3.° indaco, celeste, verde, giallo, rosso; 4.° verde, rosso; 5.° celeste-verdastro, rosso; 6.° celeste-verdastro, rosso-pallido; 7.° celeste-verdastro, bianco-rossastro. Veggonsi dopo di questi altre serie di archi colorati, ma sempre meno ampie, e tanto più languide quanto più lontane dalla macchia centrale. L'anello a questa più prossimo chiamasi di *primo ordine*, di *secondo*, di *terzo* ec. quei che vengono in seguito.

4035. Valutato il diametro di questi anelli dalla parte più brillante delle orbite, si è trovato tra essi il rapporto de' numeri impari 1, 3, 5, 7 ... onde menomasi la loro differenza in ragione dell'aumento della distanza dalla macchia centrale. Misurati egualmente i diametri degli anelli scuri interposti ai colorati, si è rinvenuto tra i loro quadrati il rapporto dei numeri pari 2, 4, 6, 8 ... valutandosi per zero la macchia centrale. Ed essendo come i quadrati dei diametri le grossezze degli strati aerei compresi tra le lenti e corrispondenti ai diversi cerchi colorati o scuri, seguono esse del pari il rapporto dei numeri impari o pari.

dire che la luce estranea tramandata dagli oggetti esterni si mischi per trasmissione con quella degli anelli che si studiano.

1036. Riguardando poi le due lenti non già per la luce riflessa, ma trasmessa, osservò NEWTON col variare l'esperimento, bianca la macchia nera per luce riflessa, e circondata da una serie de' seguenti cerchi colorati: 1.^o rosso-pallido, nero, paonazzo, celeste; 2.^o bianco, giallo, rosso, paonazzo, celeste; 3.^o verde, giallo, rosso, verde tendente al celeste, rosso; ed altri colori tanto più languidi quando più lontani dal centro.

1037. Istituiti questi sperimenti sulla luce bianca o complessa, composta cioè di raggi inegualmente refrangibili, i di cui colori non sviluppano distintamente, ma sovrapposti in parte gli uni agli altri formano dei colori composti, furono ripetuti sui raggi elementari. Fatti quindi successivamente cadere in una camera oscura sulle lenti sovrapposte i sette raggi prismatici, vide prodursi da ognuno di essi per riflessione e trasmissione anelli del suo colore, separati da anelli oscuri, ed in maggior numero di quelli prodotti dalla luce complessa. Misurati i diametri di questi anelli, lucidi o scuri, li trovò essere tra loro in ragione de' numeri impari o pari; e nello stesso rapporto rinvenne le corrispondenti grossezze degli strati aerei. Erano questi anelli della minima larghezza coll'incidenza normale, e dilatabili coll'obblività di questa; mentre gli anelli di ogni colore crescevano gradatamente di diametro diminuendosi la loro rifrangibilità.

1038. Le opinioni da NEWTON e da' suoi seguaci adottate per la spiegazione di questi fenomeni sono le seguenti. Ogni molecola luminosa attraversando una superficie rifrangente acquista una decisa transitoria disposi-

zione ad esserè più trasmessa che riflettuta , od al contrario. Questa disposizione però è alternativa e ad eguali intervalli, onde la molecola dapprima disposta ad essere trasmessa si rende poi atta ad essere riflessa, ed indi riacquista la facilità di trasmissione; e così passa periodicamente dall'attitudine di trasmissione a quella di riflessione, ed all'opposto. Questi stati successivi o diverse disposizioni diconsi *accessi di più facile trasmissione o di più facile riflessione*, e si ripetono da una fisica modificazione recata alla molecola luminosa dalla prima superficie rifrangente. La molecola quindi alternando il suo stato nel cammino che fa nello stesso mezzo giunge dalla prima alla seconda superficie di questo in istato di essere trasmessa o riflessa secondo le sofferte alterazioni. Questi accessi poi non sono istantanei, perdendo gradatamente le molecole lucide l'attitudine di trasmissione per acquistar quella di riflessione, che dapprima è debbole, e poi giunta a poco a poco al massimo, ne decade insensibilmente sino a che passa allo stato di trasmissione, che di nuovo per gradi si aumenta e poi declina. Or le molecole lucide che partono dal corpo luminoso o da altro in cui rifrangonsi, benchè egualmente celeri hanno ineguali accessi; e quelle che lo hanno identico non lo hanno allo stesso grado, ma alcune nel principio, altre nel massimo ed altre al termine del periodo. Per esser trasmesse o riflesse dalla prima superficie di un mezzo a cui si avvicinano non basta che le molecole lucide siano nell'uno o nell'altro accesso; ma fa d'uopo attendere alla forza che in questa superficie produce la riflessione, variando essa colla natura dei corpi rifrangenti. Quando è intensa può la superficie riflettere non solo

le molecole che sono nell'accesso di facile riflessione , ma anche quelle che sono nel principio e nella fine del periodo di facile trasmissione; e se è debole permette il passaggio tanto a quelle che sono nell'accesso di facile rifrazione, quanto alle altre che sono nel principio od in fine del periodo di facile riflessione ; mancando la forza necessaria per vincere la velocità delle molecole lucide e rimbalzarle indietro. Dall'esser dunque le molecole nell'uno o nell'altro accesso non segue di dover essere riflesse o trasmesse ; e la loro attitudine all'uno od all'altro stato non importa che facilità di esser trasmesse o riflesse.

1039. Questo famoso principio degli accessi fa chiaramente intendere perchè ordinariamente non abbia luogo trasmissione di luce senza riflessione ed al contrario. Le molecole luminose che s'imbattono in una superficie trovandosi in ogni specie di accesso, taluna col vincere la forza riflettente si rifrangono, ed altre vinte da questa rimbalzano indietro. E le due specie di riflessioni , l'una speculare e l'altra che segue nel corpo ad una certa profondità (§. 1032), riconoscono la stessa origine.

1040. Penetrando la luce in un mezzo trasparente , serbano sempre le sue particelle la disposizione ad essere riflesse o refratte. Varia però la lunghezza di questi accessi secondo i diversi raggi; sono cioè minori pei raggi più refrangibili, e si aumentano col menomarsi la loro refrangibilità. Le parziali lunghezze degli accessi sono costanti nello stesso mezzo, e cambiano se passano i raggi da un mezzo in un altro di diversa densità. Or NEWTON dalla grossezza del mezzo in cui ogni raggio prismatico si riflette o trasmettesi dedusse la durata

del suo accesso ; onde chiamando g la grossezza che produce la riflessione di qualunque specie di raggi , uno stesso raggio conserva la tendenza ad essere riflesso da tutte le grossezze ed a tutte le distanze dalla superficie espresse da $3g, 5g, 7g...$ e trasmesso alle distanze $2g, 4g, 6g...$ alternandosi gli intervalli ed essendo eguali. Ma l'uno o l'altra tendenza non si rende efficace che presso la seconda superficie, riflettendosi in questa, ch'è in contatto col mezzo adiacente, le particelle luminose che sono in accesso di facile riflessione, e rifrangendosi nel passare pel mezzo adiacente le altre che sono in accesso di facile trasmissione.

1041. Le molecole riflesse dalla seconda superficie giungono alla prima in accesso di facile trasmissione se il cammino fatto dall'una all'altra conta un numero impari d'intervalli, e se questo è pari giungono in accesso di facile riflessione; poichè partendo dalla seconda superficie dopo l'accesso di facile riflessione comincia quello di facile refrazione. Or se le due superficie sono fra esse parallele, le molecole rimbalzando dalla seconda alla prima escono fuori di questa e si refrangono, perchè attesi gli eguali cammini e le alternative in senso opposto, i raggi che nel primo cammino sono in accesso di facile riflessione, debbono essere nel secondo in quello di facile refrazione; e se le superficie non sono parallele, il cammino dei raggi tornanti dalla seconda alla prima superficie potendo essere maggiore o minore dell' altro eseguito dai raggi nel passare da questa a quella, secondo il numero pari od impari dei loro accessi ne sono riflessi o trasmessi.

1042. Rendono questi principii chiara ragione dei

fenomeni degli anelli colorati. Cadendo i colori prismatici ad uno ad uno sulle lenti, formano lucidi anelli dello stesso colore, che alternano con gli oscuri, si guardino per riflessione o per trasmissione. Poichè quando si manifestano gli anelli per riflessione si riflettono i raggi colorati che sono in accesso di facile riflessione, mentre gli oscuri sono prodotti dai raggi che sono in accesso di facile trasmissione. Guardandosi al contrario per trasmissione, si manifestano gli anelli luminosi ove si veggono gli anelli oscuri per riflessione, per ivi trovarsi i raggi in accesso di facile rifrazione; e gli anelli lucidi sono alternati da altri oscuri prodotti dai raggi che sono in accesso di facile riflessione. Ed essendo questi accessi proporzionali alla spessezza dell'aria posta fra le due lenti, secondo la varietà di questa alternano gli accessi e gli anelli lucidi ed oscuri. Eguagliandosi quindi ad 4 la grossezza dell'aria in cui producesi la riflessione, gli anelli lucidi han luogo ad 1, 3, 5... quando si veggono per riflessione, ed a 2, 4, 6... quando veggonsi per trasmissione, alternandosi così gli accessi.

4043. Essendo gli accessi de' diversi colori prismatici di varia durata, son essi disposti a riflettersi od a trapassare a varie grossezze di aria. Perciò il primo anello di colore azzurro si allontana dal centro più del primo anello di color violetto, il primo dei verdi più del primo degli azzurri, il giallo più dei verdi, ed il rosso più di tutti. Facendosi quindi cadere sulle lenti la luce bianca, i raggi colorati da cui essa risulta producono i loro anelli alla distanza in cui li mostrano quando sulle lenti cadono separatamente, talchè se i sin-

goli anelli colorati non si soprapponessero si vedrebbero distintamente. Essendo però sensibilmente larghi, e stringendosi più o meno nello spazio che occupano, si mischiano in parte e si confondono, e ne risulta in parte un color composto. È per ciò che nella prima serie degli anelli veduti per riflessione comparisce un cerchietto bianco prodotto dall'unione di tutti i colori; e nelle susseguenti serie i colori dapprima si mostrano non confusi, ma dopo un certo intervallo si confondono di nuovo, generandosi così dei colori più o meno misti, più o meno sfumati. I raggi del pari che si rifrangono negli intervalli degli anelli formati per riflessione danno dei colori che analogamente combinansi. Tutti i colori intanto degli anelli prodotti per riflessione o rifrazione, ad una certa distanza dal centro sbiadiscono e si perdono; perchè i diversi raggi mischiandosi presso a poco in proporzioni eguali producono una luce biancastra. Non potendo questo aver luogo per mezzo de' raggi omogenei, il numero degli anelli è maggiore quando si sperimenta colla luce omogenea, e minore quando colla luce complessa.

1044. Offrono molte pietre il fenomeno degli anelli colorati. Si distingue fra esse l'agata opalina, ossia lo opale, che ne' suoi vivacissimi riflessi le tinte riunisce del rubino, del topazio, dello smeraldo e dello zaffiro. Rendono bella questa pietra le stesse sue imperfezioni; le fessure e le screpolature, che interrompono la continuità della sua materia, le veci fanno dello strato posto fra i due vetri dell' esperimento newtoniano, che produce gli anelli colorati (§. 4033); onde i bei colori dell' opale spariscono se si spezza. I varii riflessi diver-

samente colorati, che del pari si osservano nel carbonato di calce trasparente, nel solfato di calce, nel quarzo o cristallo di monte, e simili, riconoscono pure la stessa origine.

A R T I C O L O I I .

DE' COLORI PERMANENTI DE' CORPI.

1045. Colle esposte considerazioni rende conto Newton de' colori permanenti de' corpi. Asserisce egli dapprima di essere tutti i corpi trasparenti, di esser cioè attraversati tutti dalla luce, non eccettuati quelli che riguardansi come opachi. Non solo le osservazioni microscopiche verificano questa assertiva, ma è d' essa appoggiata da altri fatti egualmente irrefragabili. Gli orli assottigliati della più opaca pietra focaja guardata per luce refratta compariscono alquanto trasparenti, ed i metalli bianchi sono dall'azione di un acido assottigliati al punto da divenire permeabili alla luce (1). Di più le particelle di ogni corpo sono fra esse in tale distanza che per i loro pori non sono che un aggregato di più gruppi piccolissimi (§§. 31-32), i quali sia per le loro qualità particolari, sia per la densità rifrangono la luce più dell' aria e di ogni altro mezzo in esse frapposto.

1046. Si spiega con questi principii il coloramento de' corpi. Dei raggi cadenti sui corpi passa un certo numero gli interstizii de' loro gruppi ed esce fuori inal-

(1) NEWTON, *Optice lucis* lib. II. prop. 2.

terato e secondo l'ordine de' suoi accessi. Degli altri poi che incontrando i gruppi gli attraversano, pochi si riflettono alla superficie di ogni gruppo, ed i rimanenti penetrando in essi si rifrangono, e prendono degli accessi molto più corti e rapidi di prima. Giungendo quindi questi ultimi raggi alla seconda superficie dei gruppi, quei che si trovano nell'accesso di facile riflessione sono riflessi e costituiscono il colore proprio dei gruppi, e gli altri che sono nell'accesso di facile rifrazione oltrepassano sino ad imbattersi in altri gruppi. Or se i primi gruppi non hanno riflesso tutt' i raggi, che trovandosi nella luce incidente sono atti a produrre il loro colore; i secondi gruppi ne riflettono un'altra parte, un'altra i terzi, e così di mano in mano sino al totale esaurimento de' raggi atti a rendere un determinato colore. Onde la somma di tutte queste riflessioni costituisce il colore speciale del corpo. Riflettono poi i corpi una od un'altra specie di raggi secondo la grandezza dei loro gruppi (§. 1043); poichè le particelle di cui compongonsi considerate collettivamente costituiscono come delle lamine sottili ed ampie quanto il corpo, ed essendo di varia densità ne' diversi corpi, in taluni son tali che per un dato colore corrispondono all'accesso di facile riflessione, sono in altri nella stessa disposizione per un' altro colore, e così in appresso; e vi possono essere delle particelle che per un dato colore si trovano nell'accesso di facile rifrazione, e simili.

1047. Supponendo che la luce cadente su di un corpo ne trovi le lamine formate di particelle tutte nell'accesso di facile rifrazione, sarà questo trasparente ed incolore. Per godere un corpo di questa proprietà debbono

esserne le parti sì tenui da non poter riflettere la luce , onde possono paragonarsi alla lamina di aria compresa nel centro delle lenti newtoniane, dove havvi luce liberamente trasmessa.

1048. Esistendo fra le molecole de' corpi trasparenti quelle che sono nell'accesso di facile riflessione, alcune per un colore ed altre per un' altro, debbono essi presentarsi sotto quello risultante dall' assieme dei colori riflessi; mentre attraversando gli altri raggi le parti di facile rifrazione emergono per l' opposta superficie di essi corpi. Possono riguardo a ciò verificarsi due casi: 1.° Se i corpi lascian passare e riflettono insieme raggi della stessa specie , mentre tutti gli altri si estinguono nella loro massa, appariscono di un *colore diasano* identico al *colore proprio* , ossia presentano essi sempre lo stesso colore tanto guardati per riflessione che per rifrazione, come avviene ne' vetri colorati. 2.° Se la luce complessa cadendo su di un corpo si divide in due parti, una delle quali è riflessa e l' altra trasmessa , il colore del corpo osservato per trasmissione è complementario di quello veduto per riflessione , ossia entrambi i colori presi insieme formano la luce bianca. Nulla infatti perdendosi della luce bianca, i due colori, il riflesso ed il trasmesso , racchiudendo tutti i colori prismatici, insieme combinati debbono produrre il bianco. 3.° Questo caso dei corpi o *mezzi dicroici* non ha luogo che di rado , accadendo ordinariamente che a parte de' raggi trasmessi e riflessi ve ne sieno degli assorbiti ed estinti ne' corpi ; ond'è che il colore dei raggi trasmessi non è complementario dei riflessi. Così per esempio le sottilissime lamine d' oro veggonsi gial-

le per luce riflessa e verdi per luce trasmessa, mentre il verde non è complementario del giallo. E parimente perdendosi successivamente i raggi colorati nell'attraversare un liquido, può presentar questo a diverse altezze colori diversi. Il *legno nefritico* che appartiene alla *Moringa Zeylanica* dei Botanici infuso in un vase conico colla punta molto acuta rivolta in basso, per luce riflessa vedesi di color celeste in tutti i punti, e per luce trasmessa presso la punta si vede giallo, alquanto sopra aranciato, e rosso nella parte più grossa. Riempiendo egualmente di cloruro di cromo un vase della stessa forma, comparisce di un bel verde verso la cima, e di un rosso carico verso la base. È quindi chiaro che variando la spessezza del liquido variano le relative proporzioni dei raggi eterogenei trasmessi per la varia legge di assorbimento che soffrono, talchè di due diversi raggi può ora dominar l'uno, ora l'altro (1).

(1) Non avea mancato NEWTON d'introdurre l'azione chimica in molti fatti riguardanti la luce, come per spiegare i fenomeni della riflessione e refrazione. Questa opinione non è stata fra i moderni adottata che da BERTHOLLET e suoi seguaci. Riguardano questi il coloramento de' corpi come un effetto della chimica azione, per cui le particelle de' corpi attraendo alcuni raggi con essi combinansi, e gli altri possono riflettersi secondo le leggi generali della meccanica della luce. BIOR al contrario ed altri rigettando l'affinità de' vari corpi per la luce, non riconoscono per cause degli svariati fenomeni della colorazione che la grossezza e la forza rifrangente dei gruppi delle loro molecole. È del resto molto probabile che la chimica influenza e la fisica natura delle particelle concorrano insieme sotto certi dati rapporti alla produzione del gran fenomeno.

1049. Se poi i corpi riflettono alcuni raggi ed assorbono tutti gli altri sono opachi e si veggono tinti del colore de' raggi che riflettono. L'assorbimento e la estinzione de' raggi luminosi, ed in generale l'opacità de' corpi può ripetersi da varie cause. 1.° Per la loro eterogenea composizione i raggi da una parte trasmessi e dall'altra riflessi, sparpagliandosi si rendono inefficaci. Hook formò un corpo che impediva affatto il passaggio della luce, mettendo l'uno dietro l'altro due eguali ed opposti prismi, ripieni il primo di un liquido rosso, ed il secondo di uno azzurro, ed entrambi di una tinta molto carica. 2.° La speciale porosità de' corpi formando come un mezzo molto eterogeneo vi fa estinguere la luce per le ripetute riflessioni e rifrazioni che in senso contrario soffre negli interstizii. Se si potesse rendere la densità de' corpi perfettamente uniforme, anche i più opachi diverrebbero assolutamente trasparenti. La pietra detta idrofana tenuta per qualche tempo nell'acqua diviene trasparente, ma dissipato appena il liquido introdotto ne' suoi interstizii riprende la sua naturale opacità. Perciò la carta bagnata ed inzuppata di olio acquista anch'essa un certo grado di trasparenza. Ed all'opposto due corpi diafani quando sono separati possono talora divenire opachi se sono mescolati. L'acqua infatti agitata, battuta, e spumante, come quella delle cascate, è bianca, ma non trasparente, per l'aria interposta nelle sue molecole. È questa ancora la causa dell'opacità de' nuvoli.

1050. I corpi che non trasmettono e non riflettono alcun raggio, assorbendoli tutti, compariscono neri, ossia privi di colore. Diminuendosi colla grossezza del-

le particelle riflettenti l'attitudine alla riflessione dei raggi, quelle de' corpi neri debbono essere le più esili possibili. Perciò secondo NEWTON l'azione del fuoco e la putrefazione anneriscono i corpi riducendone le particelle alla massima loro tenuità.

1051. Avendo infine altri corpi parti così esili da somigliare al mezzo ambiente, la luce che con essi si imbatte non soffre che una lieve impressione come se proseguisse il suo cammino nello stesso mezzo, onde essendo i raggi rifratti AD, AE (Tav. 14 fig. 9) quasi nella direzione degli incidenti AB, AC, risulteranno ben differenti gli spazii misurati da questi raggi, e quindi i colori di questi spazii; l'occhio quindi sito in B od in G vedrà il corpo secondo il colore riflesso dal punto D o dal punto E. I corpi dotati di questa proprietà diconsi di *colore cangiante*, perchè guardati sotto diverse incidenze compariscono variamente colorati (1). Tali sono molte stoffe di seta, le piume di alcuni uccelli, e specialmente quelle della coda di pavone. Tutte le belle apparenze di queste ultime avvengono, perchè le barbe che lateralmente s'inseriscono nei loro rami sono di tale sottigliezza da ravvivarne moltissimo i colori, e ad un tempo di tanta densità, che essendo poco diversa da quella dell'aria che le circonda rende variabile la situazione dei colori variando l'obliquità del raggio visuale.

1052. Questi principii fanno intendere facilmente perchè un liquido che non presenta alcun colore comparisce

(1) Ripetono alcuni Fisici il colore cangiante de' corpi dalle svariate tinte delle diverse loro parti componenti.

colorato quando con un altro si mischia, o cambia colore se era colorito. L'acido nitrico versato nell'alcool, in cui siano state infusi i petali di rose, talchè l'alcool non ne sia rimasto colorato, sviluppa ad un tratto un colore simile a quello dei petali di rose prima dell'infusione. Lo stesso acido mischiato colla tintura di tornasole cambia il celeste in un rosso vivo; lo sciroppo di viole divien verde misto con alcali; e cangia questo parimente in rosso di sangue la gialla tintura di curcuma. In tutte queste miscele la riunione delle molecole dei due liquidi forma delle molecole miste di una densità diversa da quella delle molecole componenti, dal che nasce la riflessione del colore analogo a questa densità.

1053. Bastano i seguenti fatti a comprovare che l'opacità, la trasparenza, il coloramento ed il decoloramento dei corpi non sono che effetti dell'aggruppamento e delle varie disposizioni delle loro molecole. THENARD ha osservato limpido e trasparente il fosforo purissimo nello stato liquido, annerirsi all'istante e diventare perfettamente opaco nel rapido suo passaggio allo stato solido versandosi nell'acqua fredda, e conservare la trasparenza ed il colore carniccio solidificandosi lentamente. Il sego bianco e la neve liquefacendosi si fanno bruni. In tutti questi casi lo stesso corpo senza alterarsi nella composizione presenta varie tinte, ed ora si mostra trasparente ed ora opaco, variando soltanto la disposizione delle sue parti.

1054. Quindi comprendesi perchè un corpo cangi di colore modificandosi alquanto la natura de' suoi elementi, sempre relativa alla disposizione delle molecole: il che prova meglio l'identità dei colori de' corpi cogli a-

nelli colorati. Le tinte infatti che han luogo in natura e nelle chimiche combinazioni sono sempre composte come quelle degli anelli colorati, variano colla grandezza delle molecole de' corpi che li riflettono, ed il passaggio dall'una all'altra tinta avviene sempre per le stesse gradazioni di grandezza come negli anelli medesimi. Nel graduato cangiamento di colore delle foglie e de' fiori si osserva l'ordine ascendente o discendente de' colori degli anelli e lo stesso passaggio dall'uno all'altro. Quando nell'autunno la scomposizione delle foglie ne indica prossima la caduta, dal verde del terzo ordine degli anelli passano esse successivamente al giallo, all'arancio, ed al rossastro. Nella maggior parte de' processi chimici accade lo stesso, specialmente in quelli d'imbianchimento e dell'arte tintoria. Le sottili lamine se dotate sono di una gran forza rifrangente determinano secondo la loro spessezza la specie de' colori riflessi qualunque sia il mezzo che le circonda, non potendo questo tutt' al più influire che sull'intensità del colore, ma non cangiarlo. Similmente i colori della seta, e della lana, e d'altre sostanze inzuppate d'acqua o d'olio non cangiano di tinte, ma solo diventano foschi, e non riprendono la loro vivacità che quando col calore il liquido interposto si evapora.

A R T I C O L O III.

DEI COLORI ACCIDENTALI DEI CORPI.

4055. La maggior parte de' colori prodotti dalla riflessione della luce sulla superficie de' corpi opachi, e

dalla sua refrazione ne'corpi diafani, proviene dall'unione di molti colori semplici ed omogenei combinati in modo da produrre nell'occhio una sola impressione, determinata dal numero e dalle diverse specie de'raggi riflessi o trasmessi. Avviene talora intanto che i raggi coloranti la superficie de'corpi restando gli stessi eccitano in noi la sensazione di un colore diverso da quello che nascerebbe dalla loro unione. Questi colori che hanno luogo a certe particolari condizioni, diconsi *accidentali* a differenza de' naturali, che i corpi ordinariamente mostrano.

1056. Un solo fatto tolto da BUFFON, che quasi a preferenza d'ogni altro ha studiato i colori accidentali, basta a far conoscere in che modo li facea egli comparire (1). Guardandosi fissamente e per lungo tempo un piccolo quadrato di carta rossa posto su di una carta bianca vi si scorge intorno una specie di orlo di un verde debole tendente al celeste; e se cessandosi di guardare il quadrato rosso si porta ad un tratto l'occhio su qualche parte della carta bianca vi si scorge un quadrato tinto dello stesso verde tendente al celeste; ed è questa apparenza più o meno durevole secondochè più o men forte è stata l'impressione del color rosso.

1057. Senza esporre altri fatti relativi ad un fenomeno che può ripetersi e variarsi a piacere, giova invece indagarne la causa. Per scoprirla non si deve che rimontare all'ingegnossissima costruzione immaginata da NEWTON per determinare la specie di colore composto che risultar deve dalla miscela di più colori primitivi. So-

(1) *Histoire Naturelle*, edit. in 12 Supp. tom. II p. 309.

migliò egli le azioni de' colori componenti a quelle di molti pesi agenti gli uni sugli altri in modo da produrre una sola azione diretta pel loro comune centro di gravità. Divisa quindi la circonferenza d'un cerchio in sette archi (Tav. 14 fig. 2) di lunghezza proporzionale agli spazii che occupano sullo spettro solare (§. 1003), ne notò i centri di gravità. Volendo conoscere, per esempio il colore composto da sei altri, cioè dal rosso, dall'arancio, dal giallo, dall'indaco, dall'azzurro, e dal violetto; descriveva intorno ai rispettivi centri di gravità altrettanti cerchi, le di cui superficie erano nel rapporto delle quantità de' raggi da somministrarsi dai varii colori; e ritrovato il comun centro di gravità a , dal centro c del cerchio principale dbe , tirata per a la retta cab , ed il punto b della circonferenza su cui cadeva indicavagli il colore della miscela, che nel proposto caso sarebbe stato il violetto rossastro.

1058. Or questa teoria newtoniana è stata adottata pel primo del Gesuita SCHENFFER per dar ragione dei colori in discorso. Nel caso della striscia di carta rossa posta sulla bianca (§. 1056), deve questa presentare tutti i sette colori elementari; intanto il suo rosso è come assorbito dal rosso vivo dell'altra carta, poichè quando per un senso ricevonsi ad un tempo due impressioni della stessa specie, una forte e l'altra debole, rimane questa inavvertita. Tolto dunque dai sette colori della carta bianca il rosso, la miscela degli altri sei darà un verde tendente al celeste, come prova l'esperienza. Mettendosi quindi una striscia bianca su di una carta azzurra, assorbirà questo colore l'azzurro della carta bianca, onde i sei colori rimanenti produrranno un colore acciden-

tale composto che sarà l'arancio rossastro. Se la striscia è anch'essa colorata, e di un colore risultante dalla misceola di più colori, uno dei quali sia quello del fondo; guardandosi, per esempio una striscia di carta verde su di un fondo giallo, per essere il verde un composto di azzurro e di giallo, è questo colore annullato dal preponderante giallo del fondo; onde non restando del verde che l'azzurro, sarà questo il colore accidentale della striscia.

CAPITOLO X.

DELLA DOPPIA REFRAZIONE.

1059. Il primo a scoprire nello spato calcare, ossia in un romboide di calce carbonata, detto *cristallo d' Islanda*, la sorprendente proprietà di duplicare l'immagine degli oggetti osservati a traverso di esso, fu ERASMO BARTOLINI di Copenaghen nel decimosettimo secolo (1). Dopo quest'epoca si è scoperta la stessa proprietà in grado più eminente nel eromato di piombo, ed anche ne' carbonati di barite e di piombo, nel solfato di rame, nel eristallo di rocca, nella tormalina, nel berillo, ed in molti altri cristalli riportati da BREWSTER benchè non nello stesso grado (2). E gli ultimi sperimenti all'uopo istituiti, provano che per mezzo di agenti fisici o chimici si può produrre un tal effetto in tut-

(1) ERASMI BARTHOLINI, *Experim. cristalli Islandici diadialastici*, Hafniae 1770 dedic. ad Regem FRIDER. 111.

(2) *Transazioni Filosofiche di Londra*, tom. 108, par. pri. pag. 207, anno 1818.

ti i solidi trasparenti, e specialmente in tutti quelli che non riconoscono per forma primitiva nè il cubo, nè l'ottaedro regolare, nè il dodecaedro romboidale. FRESNEL infatti comprimendo lievemente con un piccolo strettoio di ferro un prisma di vetro tetraedro rettangolare nella direzione dell'asse, vide distintamente duplicarsi la punta di un' ago guardato attraverso lo stesso (1).

1060. Per intendere la causa d'un tal fenomeno, nel romboide AH di spato d'Islanda (Tav. 14 fig. 10) distinguer debbonsi fra gli altri sei acuti i due angoli solidi ottusi A ed H; le diagonali AD, EH delle due basi o facce ACDB, EGHF; l'asse, ossia la retta, che divide i due angoli ottusi; e la *sezione principale*, ossia il piano condotto per l'asse normalmente alla faccia ACDB, ossia il quadrilatero AEHD. Poichè cadendo il raggio Sa perpendicolarmente sulla faccia superiore del romboide, si divide nel punto di immersione in due parti, di cui l'una *ac* è il prolungamento del raggio incidente, ossia non si refrange come nel caso ordinario, e l'altra *ab* prende una direzione obliqua avvicinandosi all'angolo solido E. Se poi il raggio Sa cade sulla detta faccia obliquamente, si divide anche in due parti come nell'incidenza perpendicolare. Vi ha dunque sempre in ogni caso una *doppia refrazione* del raggio luminoso, benchè in varie guise; *ordinaria* l'una accostandosi il raggio nel punto d'immersione alla perpendicolare secondo la legge generale della refrazione; *straordinaria* l'altra accostandovisi il raggio molto meno,

(1) *Memoria sulla doppia rifrazione*, negli *Annali di Fisica e Chimica*, Parigi 1822, tom. 20.

per far sempre in questo cristallo un angolo di refrazione maggiore di quello fatto nel caso precedente. Dicesi quindi *raggio ordinario* il primo, *straordinario* il secondo, ed in corrispondenza *immagine ordinaria* la prodotta dal primo, e *straordinaria* quella formata dal secondo. E la disanza bc posta tra le due specie di raggi chiamasi *distanza radiale*, od *ampiezza di aberrazione*.

1061. Quando le due facce del romboide sono fra esse parallele, il raggio ordinario e lo straordinario dovendo deviare con la stessa legge con cui hanno deviato nell'immergersi, nell'emergere per la faccia opposta piegansi di nuovo, ed escono entrambi paralleli al raggio incidente. Ma se la faccia d'incidenza s'inclina verso quella di emergenza, i due raggi non escono paralleli, ma sempre più fra essi divergenti.

1062. Essendo dunque $ADEH$ (Tav. 14 fig. 11) la sezione principale del romboide, B il punto visibile ed O l'occhio; tra i raggi emessi dal punto B vi è Ba , che si divide nel raggio ordinario ab , il quale giunge nell'occhio nella direzione bO parallela a Ba ; e nello straordinario ac , il quale benchè emerga anche nella direzione parallela a Ba , pure cade fuori dell'occhio, avvicinandosi all'angolo acuto D . Nello stesso modo l'altro raggio Be emesso dallo stesso punto B si divide nel raggio ordinario ef , e nello straordinario eh , che s'incrocia coll'ordinario ab nel punto i , ed emergendo nella direzione hO parallela a Be giunga nell'occhio a differenza di fg che non vi può giungere. L'occhio quindi vede due immagini del punto B , l'ordinaria per Ob , e la straordinaria per Oh .

1063. Sono intanto degne di attenzione le seguenti circostanze. 1.° Una delle due immagini, cioè quella osservata nella direzione Oh (Tav. 14 fig. 11), che è prodotta dal raggio straordinario, apparisce sempre più lontana dell'altra dalla base superiore del romboide; perchè vedendosi al solito un punto raggianti nell'apice di un cono lucido, si stabilisce un tal apice più lungi per mezzo del raggio straordinario. Può questa differenza rendersi sensibilissima segnandosi un cerchio sulla carta, poichè le due immagini osservate attraverso del romboide s'incrocieranno, ed una comparirà in situazione inferiore a quella dell'altra. 2.° Per l'incrociamiento dei raggi in i l'immagine straordinaria si vede in senso inverso; vedendosi cioè nella direzione Oh sembra più vicina all'angolo ottuso H di quello che lo è l'immagine ordinaria ch'è nella direzione Ob . Tanto è confermato da un importante sperimento di MONGE. Applicandosi il dito indice sul canto AE d'un romboide (Tav. 14 fig. 10) ed il pollice sul canto DH , si avvicini di molto all'occhio la sua base superiore $ABCD$ in modo che una delle due immagini del punto visibile sia situata dietro l'altra riguardo all'occhio dell'osservatore. Facendosi allora strisciare lentamente sotto il romboide una carta, che applicata alla base inferiore vada da E verso H sino a nascondere una delle due immagini; si osserverà con sorpresa che l'immagine nascosta dalla carta non è la situata dal lato d'ond'essa viene, ma quella che lo è dall'altro lato. Giacendo invero il canto DH (Tav. 14 fig. 11) dal lato dell'osservatore, la carta che va da E ad c deve intercettare il raggio Bc , a cui appartiene il raggio emergente hO , che produce l'ima-

gine più vicina all'osservatore istesso. 3.^o Segnandosi coll' inchiostro una retta sulla carta, e facendovisi girar sopra il romboide; si osserva che la distanza fra le due immagini nella direzione dell'angolo visuale supposto coincidente col piano della sezione principale è massima quando la retta è parallela alle grandi diagonali delle basi. Si avvicinano però queste immagini a misura che il cristallo gira intorno a se stesso sulla carta, e confondonsi insieme quando giunge la retta a coincidere colle piccole diagonali, in modo però che l'una è superiore all'altra sussistendo tuttora la doppia refrazione.

4064. Se invece di un solo romboide se ne impiegano due posti l'uno sull'altro, come ABCD su CDFE (Tav. 14 fig. 12), si osservano i seguenti fenomeni avvertiti la prima volta da HUYGENS (1). 1.^o Se i due romboidi sono disposti in modo che le loro sezioni principali siano parallele od in uno stesso piano, ciascuno de' raggi ordinario e straordinario uscito dal primo non si decomporrà di nuovo, rifrangendosi nel secondo; onde l'occhio non vedrà che due immagini dello stesso punto come se guardasse attraverso di un solo romboide, e non si aumenterà che la loro distanza radiale. 2.^o Se poi le sezioni principali si tagliano fra esse ad angolo retto, il raggio ordinario del primo romboide si dirigerà verso il secondo come raggio straordinario, ed al contrario. 3.^o In ogni altra situazione infine, intermedia alle già dette ciascuno di quei raggi si decomporrà in due altri nel secondo romboide, avrà luogo cioè un'altra doppia

(1) CHRIST. EUGENII *Opera reliqua*, Amstel. 1728 *Tractatus de lumine*, p. 67. et sequ.

rifrazione , onde compariranno quattro immagini del punto raggiante.

1065. Riferendosi tutti questi fenomeni all' asse del cristallo dotato di doppia refrazione, uopo è dichiarare il senso della parola *asse*. Attesa l'ordinata disposizione delle molecole cristalline vi è ne' cristalli a doppia refrazione una direzione , secondo la quale han luogo gli esposti fenomeni in un modo simile e simmetrico e che dicesi *asse del cristallo* , o di *doppia refrazione*. Non è questa una sola retta , avendo tutte le altre ad essa parallele la proprietà di produrvi gli stessi effetti. Così nel cristallo d'Islanda non solo esiste tale direzione nella retta, che taglia gli angoli ottusi A ed H (Tav. 14 fig. 10), e che è diagonale del parallelogrammo AEHD, ma anche in tutte le altre ad essa parallele. Tutti i cristalli intanto forniti di doppia refrazione, come la calce carbonata , diconsi cioè non ostante *cristalli ad un solo asse*; mentre quelli, in cui si manifestano due di quelle direzioni, e più o meno tra esse inclinate , diconsi *cristalli a due assi*.

1066. Si osservano i cennati fenomeni non solo nel cristallo Islandico, ma in tutti i cristalli che producono la doppia refrazione. Alcuni però costituiscono una eccezione, ed è che il raggio straordinario lungi dal far l'angolo di refrazione maggiore di quello fatto dall'ordinario (§. 1060) , lo fa minore ; sonovi cioè dei cristalli, in cui il raggio straordinario si scosta dall'ordinario allontanandosi dalla perpendicolare tirata al punto d'immersione, e degli altri in cui si scosta dall'ordinario per avvicinarsi alla perpendicolare. Biot , che avvertì il primo questa differenza , chiama i primi *cri-*

stulli ripulsivi, ed i secondi *critalli attrattivi*. Lo spato d'Islanda, il fosfato di calce, il berillo, la tormalina, ec. hanno un asse ripulsivo; il quarzo, il solfato di baryte, il topazio, il solfato di calce, ec. ne hanno uno attrattivo.

4067. Per dar ragione di questi fatti ammise NEWTON nelle tenuissime particelle della luce due *poli*, ossia lati, sui quali la materia de'corpi doppiamente refrangenti esercita un'azione particolare, il di cui centro è nel piccolo angolo solido, a cui il raggio straordinario si avvicina. Ciò posto, di tutti i semplici raggi componenti un fascio di luce incidente sulla superficie di uno de'cennati corpi, si rivolgono alcuni verso del detto angolo coi poli, su cui la cennata azione può esercitarsi, e si ha così il raggio straordinario; mentre non presentando gli altri a tale azione la stessa specie di poli, subiscono l'ordinaria refrazione, e costituiscono il raggio ordinario. Il fascio di luce incidente divideasi dunque in due parti, una delle quali è soggetta all'ordinaria refrazione, ed attratta l'altra dalla forza risendente nel piccolo angolo solido è soggetta alla refrazione straordinaria.

4068. Riconoscendo poi BIOT che il raggio straordinario si avvicina talora all'angolo solido, da cui secondo NEWTON emana la forza attraente, ed altre volte se ne allontana; non potè ripetere i varii fenomeni della doppia refrazione che da una forza ora ripulsiva ed ora attrattiva, che emanata dall'asse del cristallo, o da linee ad esso parallele, respinge od attrae un numero di particelle del raggio incidente, separandole dal raggio ordinariamente refratto. Rappresentandosi infatti per ogni punto

d'incidenza su di un cristallo, per esempio di spato Islandico, la posizione dell'asse ne' primi strati, ove il raggio dividesi, con una linea all'asse istesso parallela; si hanno i fenomeni che avrebbero luogo se realmente si emanasse da questa linea una forza, che agendo su di un certo numero di particelle lucide tendesse ad allontanarle dalla loro direzione. Dividonsi i raggi quando coll'asse fanno un'angolo e non quando gli sono paralleli; e divisi, il raggio straordinario prende sempre la direzione che avrebbe se animato fosse da una forza dall'asse emessa. E seguendo la straordinaria rifrazione egualmente per ogni lato intorno all'asse, se n'è dedotto che la forza ripulsiva agisce egualmente intorno ad esso per ogni lato. Ne' cristalli poi, in cui il raggio straordinario si accosta all'asse, la forza che separa i raggi sembra piuttosto attrattiva che ripulsiva, cioè che attragga i raggi verso l'asse, d'onde la classificazione fatta da BIOT dei cristalli doppiamente rifrangenti in ripulsivi ed attrattivi. Ciocchè si è detto di un'asse, s'intende egualmente detto de' cristalli, che hanno due assi di doppia refrazione.

4069. Avendo però BREWSTER osservato (1) che i fenomeni i quali hanno indotto BIOT a distinguere i cristalli secondo l'azione ripellente od attraente che esercitano sulla luce, possono ripetersi da una stessa forza agente in diverse direzioni secondo due diversi assi; ha rigettato la classificazione di quest'autore come affatto ipotetica, sostenendo con non pochi argomenti per più ragionevole il considerare i diversi cristalli co-

(1) *Philos. Trans.* 1818. p. 1. p. 216.

me agenti con forza *positiva* o *negativa* , onde chiama *cristalli positivi e negativi* quelli che Biot *attrattivi* denominava e *repulsivi*.

4070. Vuolsi però avvertire che rifrangendosi doppiamente la luce acquista una modificazione di cui mancava nello stato di luce diretta, com'è provato del fenomeno delle quattro immagini prodotte della sovrapposizione di due romboidi (§. 4064), e dalle variazioni d'intensità di queste immagini secondo la rivoluzione del romboide superiore. Risulta infatti da questo sperimento che quando la posizione de' cristalli è tale che le due sezioni sono nello stesso piano od in piani paralleli, i due raggi, l'ordinario e lo straordinario, immergendosi nel secondo cristallo non si separano , e l'ordinario del primo si rifrange ordinariamente dal secondo cristallo, e straordinariamente lo straordinario; e che a misura che le due sezioni fanno un angolo , ogni raggio proveniente dal primo romboide si divide in due, rifrangendosi straordinariamente una parte del raggio ordinario , ed ordinariamente una dello straordinario , d' onde risultano le quattro immagini. Inoltre i due raggi in cui dividesi l'ordinario del primo cristallo, sono di eguale intensità, e le due immagini corrispondenti d' eguale chiarezza , quando le due sezioni principali fanno tra esse un angolo di 45° . Crescendo poi quest' angolo diminuisce l'intensità del raggio ordinario , e quella dello straordinario aumenta , finchè divenuto retto l'angolo delle due sezioni , ossia resa l' una di queste all'altra normale, manca del tutto il raggio ordinario e non resta nella sua massima intensità che lo straordinario. Lo stesso avviene nei due raggi in cui

si partisce lo straordinario del primo romboide. La loro intensità è eguale a 45° , ed ineguale in ogn'altra disposizione; ma l'intensità dello straordinario manca come cresce quella dell'ordinario, finchè giunte le due sezioni ad una posizione normale manca del tutto il raggio straordinario e resta solo l'ordinario nel massimo di sua intensità; talchè i due raggi soffrono una permuta, rendendosi ordinario lo straordinario ed all'opposto, ed in corrispondenza anche le due immagini. Si rinnovano questi fenomeni in ogni quarto di giro che si fa fare al romboide superiore. Onde ogni raggio emergente dal primo romboide si divide nel secondo per mezzo di altre due rifrazioni in parti ineguali quando le due sezioni principali non fanno un angolo di 45° ; ed al contrario non ha che un solo modo di refrazione nel secondo romboide quando le due sezioni sono parallele o tra esse normali. Risulta quindi da tutti questi fenomeni che i due raggi nell' emergere dal primo romboide non serbano in tutta la loro direzione le stesse proprietà ottiche, soffrendo secondo la posizione degli assi romboïdali ora l'ordinaria ed ora la straordinaria refrazione.

CAPITOLO XI.

DELLA POLARIZZAZIONE DELLA LUCE.

1071. Attese le circostanze de' fenomeni di doppia refrazione vi è una notabile differenza tra la luce che attraversa un corpo dotato di questa proprietà, e quella che, attraversando lo spazio, giunge in obliqua direzione sulla superficie dello stesso corpo, rifrangendosi la

parte che non si riflette. Questa qualunque sia la sua direzione, si suddivide sempre in due fasci, uno de' quali soffre l'ordinaria e l'altro la straordinaria refrazione; mentre l'altra parte resta semplice nel suo corso, quando è nel piano della sezione principale od in un' altro ad esso perpendicolare, e si suddivide in tutti gli altri piani.

4072. MALUS scoprì il primo nel 1811 una grande analogia fra la luce emergente da un corpo dotato di doppia refrazione, e quella che soffre una riflessione parziale sulla superficie d'un corpo. Cadendo infatti il raggio EF (Tav. 14 fig. 13) sulla superficie AB di un vetro piano ben pulito, non stagnato, ma annerito nella parte posteriore, in modo da formare con esso un angolo di 35° , $25'$; rimbalza per FG facendo l'angolo di riflessione eguale a quello d'incidenza; ed imbattendosi sotto lo stesso angolo con un'altro vetro CD egualmente condizionato, soffre un'altra riflessione per GH. Or se il vetro CD, serbando sempre la stessa inclinazione riguardo al raggio verticale FG gira intorno a questo come ad un asse, quando è parallelo al primo vetro AB l'intensità della luce riflessa dal vetro è massima; si diminuisce a misura che questo devia dal parallelismo, e manca poi affatto quando normale rendesi al primo piano di riflessione, quando cioè ha percorso 90° , nel qual caso tutta la luce invece di riflettersi attraversa il vetro. Continuando il giro per altrettanti gradi si riproducono gli stessi fenomeni, ma in senso inverso, crescendo la luce riflessa come diminuisce nel primo quadrante, e così in appresso. In tutta la rotazione vi sono quindi due *massimi* e due *minimi* di luce riflessa, si osservano

quelli a 0° e 180° , e questi a 90° , e 270° . La luce diretta colla riflessione sui corpi trasparenti acquista dunque delle proprietà opposte a quelle che prima di riflettersi aveva, potendo dopo la prima riflessione essere del tutto, in parte, o per nulla riflessa, secondo la varia posizione del secondo piano riflettore riguardo al primo.

1073. Se riflesso un raggio da un piano di vetro sotto un angolo d'incidenza di 35° , $25'$, cade normalmente su di un romboide di calce carbonata, la di cui sezione principale sia parallela al piano riflettente, non si divide, ma soffre l'ordinaria refrazione. Se poi la sezione principale del cristallo fa un angolo coll'indicato piano di riflessione, il raggio si divide in due, ordinario l'uno, straordinario l'altro; ed in ragione che l'angolo si aumenta diminuisce l'intensità del primo raggio e cresce quella del secondo, finchè giunto a 90° manca affatto quello e giunge al massimo l'intensità di questo. Il raggio dunque riflesso sotto l'angolo di 35° , $25'$ è del tutto analogo al raggio ordinario, che emergendo da un cristallo di calce carbonata s'immerge in un simile romboide (§. 1065), ottenendosi da questi due raggi gli stessi fenomeni secondo la diversa posizione dei due piani, che nei due romboidi sono le loro sezioni principali, e nell'esperimento in discorso sono la sezione principale del romboide ed il piano di riflessione. La modificazione dunque che la riflessione reca ai raggi sotto una data incidenza è identica a quella che loro comunicano i corpi cristallizzati dotati di doppia refrazione.

1074. Questa modificazione però non è solo effetto della riflessione e della doppia refrazione, ma anche della semplice refrazione. Disposte in fatti parallela-

mente tra loro molte sottili lamine di vetro (serie detta *pila di lamine*), e fattovi cadere un raggio sotto l'angolo di 35° , $25'$, niuna molecola lucida si riflette dall'ultima superficie; ed aggiunte alle prime altre lamine, la luce le attraversa tutte collo stesso splendore, trasmettendosi tutte le sue particelle senza riflettersi. E cadendo questa luce trasmessa su di un romboide di calce carbonata, ora dividesi ed ora no nella stessa guisa e nelle stesse posizioni, in cui dividesi o no, il raggio che da un primo romboide passa in un' altro.

1075. La luce dunque nel suo stato naturale, quale cioè vien diffusa dai corpi luminosi, può riflettersi e refrangersi egualmente in ogni senso; ma riflessa o refrattata in talune circostanze è modificata in guisa che la riflessione o refrazione non può farsi più egualmente per ogni verso, potendo riflettersi o refrangersi facilmente ed al *maximum* per una parte, difficilmente ed al *minimum* per un'altra. Or MALUS per dar ragione di questi singolari fenomeni, ammise secondo NEWTON in ogni molecola di luce due *poli*, ossia facce dotate di diverse proprietà fisiche, confusamente involti in ogni senso nella luce ordinaria. Imbattendosi questa coi corpi in alcune circostanze, per la loro azione si dispongono le sue molecole in modo che i lati simili di esse, od almeno dotati delle stesse proprietà, si rivolgono tutti nello stesso senso. Ogni raggio dunque risultando da una serie infinitamente rapida di particelle che presentano le loro facce omologhe nello stesso senso, è sotto lo stesso angolo da certi lati più riflessibile, o più refrangibile che di alcuni altri. Chiamò quindi *polarizzazione* siffatta disposizione dei poli delle molecole lucide, e

raggio polarizzato quello che in qualunque modo è così modificato. Dicesi poi un raggio *polarizzato relativamente ad un piano* quando essendo in questo, od in un altro ad esso parallelo, è riflesso al *maximum*, mentre in altro allo stesso normale è trasmesso al *maximum*. Chiamasi quindi polarizzato riguardo a questo lato in due sensi rettangolari, ossia nel senso parallelo o normale in cui le facce simili delle molecole lucide sono girate e dirette riguardo alla sezione principale, o ad un piano qualunque. Il raggio polarizzato serba inalterata nello spazio questa proprietà quando attraversa perpendicolarmente strati aerei di notevole densità, acquosi, o di altra materia capace di esercitare la semplice refrazione.

1076. Benchè i vetri e tutte le superficie levigate polarizzino più o meno interamente la luce che riflettono sotto qualunque angolo d'incidenza meno che retto; pure si richiede per ogni materia una particolare incidenza affine di polarizzare al massimo la luce diretta che cade sulla sua superficie. Quest'angolo pel vetro nell'aria è di $35^{\circ}, 25'$; per la barite solfata di $32^{\circ}, 6'$; pel diamante di $27^{\circ}, 54'$; pel solfo nativo di $29^{\circ}, 46'$; pel succino di $33^{\circ}, 25'$; per l'olio di pesce di $34^{\circ}, 30'$; per l'acqua di $36^{\circ}, 58'$.

1077. Molti corpi opachi ben levigati, come il marmo, il legno di ebano, le vernici nere polarizzano la luce che riflettono, al pari di alcuni corpi diafani. Ed alcuni di questi, come il diamante ed il vetro di antimonio, non polarizzano mai interamente. I metalli però polarizzano la luce meno compiutamente, riflettendola anche sotto le più favorevoli incidenze.

1078. La teoria di questi fenomeni data da MALUS è fiancheggiata dai calcoli di LA PLACE (1), e dalle osservazioni di valenti Fisici. Riferisce quegli ogni molecola lucida a tre assi ortogonali, ossia rettangolari, presi nel suo interno (2). Il primo di questi assi essendo sempre nel senso della traslazione del raggio, come AB (Tav. 14 fig. 14) dicesi *asse di traslazione*, l'altro CD è diretto orizzontalmente, ed il terzo EF benchè diretto anche orizzontalmente, è normale al preecedente. Di questi assi poi dicesi *asse di polarizzazione* quello che è nel piano riguardo a cui il raggio è polarizzato. Or non essendo un raggio che una serie di particelle lucide, in un raggio polarizzato gli assi di queste particelle sono tutti paralleli tra loro; onde polarizzare un raggio non è che rendere al più possibile tali assi tra loro paralleli.

1079. Bisogna però attendere all'asse di polarizzazione di un raggio. Quando questo è polarizzato per riflessione, gli assi di tutte le sue molecole lucide sono ordinariamente nel piano della riflessione; ma quando lo è da un cristallo doppiamente rifrangente bisogna distinguere in tal caso il raggio ordinario dallo straordinario; le particelle del primo hanno l'asse di polarizzazione in un piano condotto per l'asse di traslazione e per una retta parallela all'asse del cristallo, e quelle del secondo hanno l'asse di polarizzazione normale al piano condotto pel loro asse di traslazione e per una retta parallela all'asse del cristallo. Stabilita la posizio-

(1) *Mem. de la Soc. d'Arcueil*, t. 2.

(2) *Thèor. de la double refract.*

ne dell' asse di polarizzazione, facilmente s' intende l'azione delle forze polarizzanti, supposte ripellenti, e che probabilmente sono le riflettenti, od almeno con queste in intimo rapporto. Le forze polarizzanti nei cristalli doppiamente rifrangenti non sono che le forze rifrangenti. Ma qualunque esse sieno, le forze polarizzanti non fanno che rendere l' asse di polarizzazione parallelo o normale ai piani, a cui questa si riferisce. Quando lo rendono parallelo, le forze emesse dai corpi a cui si appressa lo respingono, e le particelle lucide sono riflessibili; quando poi è normale, agendo le forze con eguale intensità sulle due parti eguali dell' asse di polarizzazione, come CE, CF (Tav. 14 fig. 14), che sono a destra ed a sinistra dell' asse di traslazione, non possono riflettere le particelle lucide; e cadendo queste sul corpo trasparente si refrangono, e dicesi che divengono refrangibili.

1080. Intanto le forze polarizzanti, o repulsive non possono produrre lo stesso effetto su tutte le particelle lucide che si approssimano ai corpi riflettenti; non essendo tutte nello stesso stato, ma alcune in mezzo ed altre in fine di un accesso di facile riflessione o di facile trasmissione. Quindi alcune particelle dei raggi lucidi si polarizzano ed altre nò, ed alcune altre si polarizzano in sensi diversi (1). Da ciò puranche la polarizzazione della luce per riflessione e refrazione in sensi opposti, che ha luogo ne' corpi non cristallizzati (§. 1074); poichè le molecole lucide in parte si riflettono

(1) BIOT, *Récherches sur la polarisation de la lumière* p. xxv etc.

ed in parte si refrangono, avendo alcune, per essere in diverso stato, gli assi ridotti nel piano d'incidenza, ed altre in un piano a questo normale; e ciò sino a che per la molteplicità delle laminette mancata la luce riflessa, resti inalterabile e costante la trasmessa.

4081. Per render conto di alcuni fenomeni altrimenti inesplicabili, BREWSTER ha modificato la teoria di MALUS (1). Dalle proprietà ottiche dell'agata ha egli dedotto esistere i cristalli doppiamente rifrangenti di due mezzi, uno ordinario, l'altro straordinario, di due specie di parti cioè, particolarmente agenti sui lucidi fascetti per svilupparne il raggio ordinario e straordinario. Sono disposti questi due mezzi nei cristalli a strati alternanti, varianti d'intensità secondo qualche legge, e sono di eguale trasparenza in qualche cristallo, come nel quarzo, e d'ineguale trasparenza in altri, come in alcune specie di agata. Or alterato il pulimento di tali cristalli, si forma confusa l'immagine ordinaria e straordinaria, producendosi delle refrazioni irregolari. È per ciò che posto un liquido nelle cavità del cristallo, secondo che il liquido ha la sua forza refrangente eguale o al mezzo ordinario oppure allo straordinario, l'immagine ordinaria o straordinaria dapprima confusa scorresi chiara e distinta. Colla struttura dell'agata, della tormalina, e della madreperla spiega BREWSTER altri fenomeni della luce polarizzata, tra' quali è notevole quello della tormalina o dell'agata tagliata a lamine sottili, che trasmettono il raggio polarizzato in un determinato senso. Perciò due di esse incrociate ad angolo

(1) *Phil. Trans. for the year, 1819.* p. 1. p. 146-153.

retto diventano opache, non potendo i raggi trasmessi dalla prima entrare nella seconda; ed al contrario ov'esse si sovrappongono nello stesso senso rendonsi del tutto trasparenti, trasmettendosi i raggi da entrambe.

1082. Nell'esame dei varii effetti del potere polarizzante di varie sostanze, un'altra classe d'importanti e singolari fenomeni ha richiamato l'attenzione de' Fisici. È noto (§. 4072) che il raggio FG polarizzato per riflessione (Tav. 14 fig. 13) imbattendosi perpendicolarmente sul vetro superiore CD, lo attraversa tutto liberamente. Non s'ignora del pari che eadendo verticalmente lo stesso raggio su di un romboide di calce carbonata, la di cui sezione sia parallela al piano di polarizzazione, non si divide e dà solo una immagine ordinaria (§. 4073). Or se questo raggio prima di eadere sul vetro CD o sullo spato calcareo, attraversi una sottile lamina di calce solfata o di altro cristallo doppiamente rifrangente, avvengono i seguenti fenomeni. 1.° Il raggio emesso dalla lamina, accolto nell'occhio, o eaduto normalmente su di un cartone, comparisce bianco: 2.° Attraversando il romboide dà due immagini; e cadendo sullo specchio CD si divide in due fascetti, uno trasmesso e l'altro riflesso, colorati entrambi in modo che i loro colori sono complementarii: 3.° Girandosi la lamina in modo da render l'incidenza sempre perpendicolare, della tinta di CD varia l'intensità, secomparendo essa o divenendo minima quando si dirige l'asse ad uno dei punti cardinali, e giungendo al *maximum* nei punti medii, quando cioè si dirige l'asse agli azimutti di 45° , 135° , 245° , 315° . Variando però la grossezza della lamina o l'incidenza del raggio, variauo i colori de' fascetti, ben-

chè serbino i medesimi periodi di loro intensità. Se poi la grossezza della lamina giunge a quella che può stabilirsi ne' più puri cristalli, cioè al $\frac{45}{100}$ di millimetro, scomparendo affatto i colori, si ha la luce bianca (1).

1083. Da questo sperimento esposto la prima volta da ANAGO nel 1811, ed in altri modi e senza cognizione della scoperta dell' Astronomo Francese istituito da BREWSTER nel 1812, ha BIOR (2) inferito che le molecole della luce ordinariamente polarizzata dalla lamina di calce solfata si dividono in due parti l'una delle quali serbando la sua primitiva polarizzazione attraversa CD (Tav. 14 fig. 13), e perdendo l'altra questa polarizzazione una straordinaria ne acquista, per la quale lungi dal traversare CD n'è riflessuta. Separandosi quindi la luce bianca in queste due parti diversamente polarizzate, prendono queste diverse tinte complementarie, perchè unite formano il bianco. E se la lamina ha notabile grossezza, depolarizza questa tutte le particelle lucide, ed imprimendo a tutte una comune e straordinaria polarizzazione non le separa, e conserva bianca la luce.

1084. Bior ha inoltre osservato le tinte dei due raggi simili a quelle degli anelli colorati di NEWTON, talchè la tinta riflessa dello specchio è quella di un anello riflesso, e la complementaria che lo penetra è quella di un anello colorato trasmesso corrispondente. Ed avendo anche scorto che le grossezze delle lamine cri-

(1) Il *Microscopio di polarizzazione* dell' illustre Prof. Cav. G. AMICI, a preferenza di ogn'altro apparato, si presta per la verifica di tutti i fenomeni della luce polarizzata.

(2) *Récherches expérimental, et mathém. sur la lumière.*

stalline producenti i diversi colori sono tra esse come quelle delle lamine aeree produttrici di simili tinte negli anelli colorati; che quantunque proporzionali, pure i valori assoluti sono maggiori, e che questi valori per tinte simili sono ineguali in diversi cristalli; ne ha concluso, che, essendo le grossezze delle lamine polarizzanti proporzionali, per le varie tinte composte che producono, alle grossezze calcolate da NEWTON nel fenomeno degli anelli, ogni specie di luce semplice che contribuisce alla tinta, debb' essere sottomessa a leggi periodiche similissime a quelle degli anelli medesimi; e che ogni raggio omogeneo attraversando i cristalli doppiamente rifrangenti ha degli accessi di ordinaria e straordinaria polarizzazione, come negli anelli colorati ha quelli di refrazione e riflessione; onde come è trasmesso o riflesso nelle esperienze newtoniane agli intervalli di grossezza g compresi nella serie $0, g, 2g, 3g...$ così nell' attraversare il cristallo dotato di doppia refrazione è con simili alternative ordinariamente e straordinariamente polarizzato; talchè chiamata g la grossezza fondamentale di un dato colore omogeneo, le sue molecole componenti da g sino a $2g$ lasciano la primitiva polarizzazione per prenderne una nuova; da $2g$ a $3g$ lasciano questa e riprendono quella, e così successivamente il colore omogeneo si trova straordinariamente polarizzato alle grossezze $g, 3g, 5g...$ nella progressione de' numeri impari, ed alle grossezze $0, 2g, 4g...$ nella progressione dei numeri pari si trova ordinariamente polarizzato. Questi valori intanto, diversi nello stesso cristallo per i diversi colori omogenei sono in ognuno proporzionali alle rispettive lunghezze degli accessi di facile refrazione e riflessione.

1085. Per quest' alternativa di straordinaria e primitiva polarizzazione le molecole lucide attraversando le rispettive grossezze del cristallo doppiamente rifrangente oscillano continuamente. L'ampiezza di queste oscillazioni è la stessa per tutte le molecole che si muovono in una direzione, ma la durata di quelle di ogni colore è diversa, talchè i tempi delle oscillazioni di ogni colore dello spettro dal violetto al rosso formano una scala crescente. Il moto oscillatorio si ferma quando le molecole lucide dalla superficie posteriore della lamina di cristallo emergono nell'aria od in altro mezzo non dotato di doppia refrazione, onde trovansi pienamente nel senso di polarizzazione, a cui l'ultima oscillazione le ha condotto.

1086. Quindi opina Biot che quando un raggio di luce semplice già polarizzato attraversa perpendicolarmente una laminetta cristallizzata parallela all'asse di doppia refrazione, le molecole lucide dapprima penetrano sino ad una certa profondità senza perdere la loro primitiva polarizzazione, e procedendo poi più oltre dondolano periodicamente su di se stesse in modo che l'asse di polarizzazione si trasporta alternativamente dall'una all'altra parte dell'asse del cristallo in eguali ampiezze al pari di un pendolo oscillante intorno alla verticale da cui si è allontanato. Questo stato di oscillazione, in cui l'azione del cristallo mette gli assi delle molecole lucide prima di fermarsi, è da lui detto *polarizzazione mobile* a differenza dello stato permanente e distintivo detto *polarizzazione fissa*.

1087. Riguarda egli la polarizzazione mobile come un effetto di ripulsioni ed attrazioni in opposto senso

esercitate dalle particelle del cristallo sugli assi delle molecole lucide (§. 1079) con energia minore di quella della polarizzazione fissa. Gli elementi di questa forza sono il numero delle particelle attraenti e repellenti, ossia la massa del cristallo, la lunghezza del tragitto della luce attraverso di questo, e l'inclinazione del raggio incidente sull'asse del cristallo, da cui le attrazioni sorgono e le ripulsioni. Varia quindi con questi elementi l'intensità della forza, ed in corrispondenza il numero delle molecole lucide oscillanti e la rapidità delle loro oscillazioni. Quando poi questa forza eguaglia quella che ferma la polarizzazione, cessando le oscillazioni prende la luce la polarizzazione fissa.

1088. Con questi principii rende ragione Biot delle tinte de' fascetti lucidi prodotti dalla polarizzazione mobile (§. 1082). Quando il raggio bianco ordinariamente polarizzato entra nella lamina di calce solfata, le sue molecole non soffrono sensibile cangiamento nella direzione de' loro assi sino alla grossezza g diversa per ogni specie di colore. Ma giunte a questo punto cominciano ad oscillare intorno ai loro centri di gravità al pari della spirale dell'orologio. E variando per ogni colore la celerità delle oscillazioni, vi sono per ciascuna grossezza diversi colori. Produconsi quindi i due fascetti colorati emergenti dalla lamina di calce solfata, le di cui tinte sono complementarie. Ma oltrepassando un certo termine, cresciuto il numero delle molecole oscillanti colla grossezza della lamina (§. 1086), si rimescolano nei limiti delle oscillazioni, e variano i colori come negli anelli newtoniani. Riunendosi in fine tante molecole diverse quante bastano a costituire il bianco,

questo si forma e si rende sempre più perfetto. Perciò nella calce solfata alla grossezza di $\frac{46}{100}$ di millimetro spariscono i colori, e vi ha luce bianca.

1089. Sonovi però de' fenomeni osservati da Biot nella caduta di un fascetto di raggi convergenti ordinariamente polarizzati sulla laminetta di un cristallo di doppia refrazione. L'apparato all'uopo impiegato è il seguente: su di un ampio disco di vetro AB annerito nella superficie posteriore si polarizza per riflessione un largo fascetto S di luce bianca delle nubi (Tav. 14 fig. 15). Si riceve questo su di un vetro nero C disposto in modo che niuna porzione ne sia riflessa, il che segue quando un occhio in O guardando il vetro C vede affatto oscura la superficie del disco AB. Introdotta poi nel tragitto de' raggi una lamina D di spato islandico tagliata normalmente all'asse di cristallizzazione, si situa in modo da ricevere sotto l'incidenza perpendicolare il raggio polarizzato. Allora l'occhio sempre fisso in O scorge nel vetro C molti anelli concentrici divisi in quattro quadranti da una croce nera, le cui branche si dilatano a misura che si allontanano dal centro (Tav. 14 fig. 16) (1). Si vede indi nel centro degli anelli una macchia nera circondata da un cerchio turchino cupo, che ben presto cangiasi in bianco tendente al turchino, poi in bianco perfetto, indi in giallo pallido, in arancio, ed in rosso, come nel primo anello riflesso dall'apparato newtoniano (§. 1034). Mentre i

(1) Si producono gli stessi effetti, benchè più vivaci, dalla fiamma d'una lucerna a corrente d'aria circondata da un globo di vetro appannato.

colori degli altri anelli seguono anche lo stess' ordine , la croce nera non partecipa delle loro gradazioni. La grandezza infine degli anelli cangia colla distanza dell'occhio dalla lamina cristallizzata, anmentandosi quando questo se ne allontana, e diminuendosi quando vi si avvicina; e compariscono poi di egual grandezza quando si muove l'occhio parallelamente alla lamina (1).

1090. Si spiegano questi fenomeni coi principii della polarizzazione mobile. Secondo Biot le forze polarizzanti , con cui la lamina agisce sui diversi raggi che l'attraversano in senso obliquo al suo asse , depolarizzano le molecole lucide. Variando la loro energia ad ineguali distanze e restando la stessa ad un' eguale distanza intorno all'asse , mostran esse in giro , colla straordinaria o mobile polarizzazione , che cagionano (§. 1083) le varie tinte , che essendo eguali ad eguali distanze producono gli anelli colorati che si osservano. Si produce quindi la croce nera da' raggi che serbano per la loro posizione la loro primitiva polarizzazione , e trasmettendosi altrove lasciano una serie di maechie , che formano la croce. Niuno però de' raggi attraversanti la lamina fuori di queste linee serba la polarizzazione almeno in tutto ; una parte di raggio perdendola si po-

(1) Le più belle dimostrazioni della luce polarizzata colorata si eseguono mediante il grande apparato di CLARKE. In questo si polarizza la luce ossidrogenica , e le immagini si producono ingrandite su di un piano messo di rincontro , come nel microscopio solare e nella lanterna magica. In quello , che si possiede dal Real Gabinetto privato di S. M., vi sono tutti gli accessori per render completa la dimostrazione di quest'ordine di fenomeni, e per interessare ancora coloro che sono estranei alla scienza.

larizza in modo che il resto delle molecole lucide oscilla colla polarizzazione mobile; ma ripolarizzata, e giunta al vetro C si riflette e presenta i colori.

1091. Facendo ARAGO attraversare un raggio di luce polarizzato per delle lamine di quarzo tagliate perpendicolarmente all'asse, scoprì in questo corpo la singolare proprietà di eangiare il piano di polarizzazione del raggio polarizzato che lo attraversa parallelamente all'asse; proprietà non riconosciuta in altra specie di cristallo birefrangente. Alcuni cristalli di quarzo producono questa deviazione a destra, altri a sinistra. Guardando con un prisma birefrangente il raggio polarizzato che ha attraversato la lamina di quarzo parallelamente al suo asse, si veggono due immagini colorate colle tinte complementarie. Studiando Biot questo fenomeno, a cui ha dato il nome di *polarizzazione rotatoria*, e FRESNEL *polarizzazione circolare*, è giunto a dimostrare, che per delle lamine di quarzo tratte dallo stesso cristallo, la deviazione del piano di polarizzazione è proporzionale alla grossezza della lamina: sia che il cristallo operi la deviazione a destra, sia che l'operi a sinistra, per una stessa grossezza la deviazione è eguale. Pei raggi di diverso colore poi la deviazione cresce colla loro refrangibilità. Ecco perchè guardando con un prisma birefrangente un raggio polarizzato, che traversato abbia una lamina di quarzo veggonsi colorate le due immagini, ordinaria e straordinaria; giacchè essendo diversa per ognuno dei raggi colorati la deviazione del piano di polarizzazione, ciascuna delle due immagini risultare deve dalla sovrapposizione della stessa immagine dei diversi colori, i quali essendo per tal ragione dise-

guamente fra loro divisi, dar quindi debbono le tinte complementarie. Ha dimostrato finalmente che questa proprietà non è esclusiva del cristallo di Rocca, ma che possiedesi egualmente da molte sostanze non cristallizzate, come alcuni chimici composti, l'olio di terebinto, di cedro, l'acqua zuccherata, ed altri corpi liquidi e gassosi. Questa proprietà non è dunque dovuta ad un modo speciale di aggregazione delle molecole, ma è una proprietà interamente molecolare.

4092. Avendo l'illustre Biot fatto una felice applicazione di questo fenomeno ottico allo studio della composizione chimica di alcune sostanze, è indispensabile avere de'suoi pregevoli sperimenti una breve idea. Attese le modificazioni che subisce la luce nell'attraversare queste sostanze, si giunge a riconoscere in alcune circostanze la loro intima natura. Ecco in che consiste in generale il suo apparato. Si fa cadere la luce diffusa del cielo su d'un vetro nero sotto un angolo di 35° , $25'$; il raggio riflesso s'introduce allora in un lungo tubo di metallo, avente nell'estremo opposto un prisma birefrangente acromatico di spato Islandico, posto nel centro di un circolo diviso portato da un'alidada mobile; il piano di questo cerchio è perpendicolare alla direzione del raggio polarizzato per la riflessione. Applicandosi l'occhio al tubo dalla parte del prisma, la luce che attraversa questo mezzo birefrangente, essendo polarizzata, in certe posizioni del prisma istesso produce due immagini, mentre in altre ne fa apparire una sola, trovandosi l'altra affatto oscurata. Una di queste posizioni è lo zero o il punto di partenza dell'istrumento per gli esperimenti da istituirvisi. Messo quindi lo strumento al suo zero fra il prisma, in cui giunge il fa-

scio luminoso polarizzato, ed il vetro riflettore, si pone un tubo ripieno di un dato liquido, per esempio di acqua zuccherata, talchè il detto fascio luminoso attraversando questo liquido, all'istante le due immagini appaiono di nuovo, onde bisognerà rivolgere il prisma di un dato numero di gradi per far scomparire di nuovo uno di quei cerchi luminosi. Sostituendosi a questo un altro liquido, per esempio, dell'acqua più carica di zucchero; bisogna in tal caso rivolgere il prisma di un maggior numero di gradi per giungere al punto di oscuramento di una delle due immagini. I diversi numeri dei gradi, di cui è mestieri rivolgere il prisma birefrangente nelle diverse circostanze, indicano le proporzioni relative dello zucchero sciolto nell'acqua. Quindi l'illustre Biot ha utilmente applicato tale proprietà alle indagini della materia zuccherina contenuta nell'orina degli ammalati affetti da diabete. È chiaro che se nel posto dell'acqua zuccherata si pone l'orina da analizzarsi, la presenza dello zucchero sarà immediatamente indicata, qualora ne contiene, come quando era disciolto nell'acqua. Giacchè è lo zucchero che esercita l'influenza in questa circostanza sul fascio luminoso polarizzato, e la proporzione relativa di questo zucchero sarà indicata dal numero di gradi di cui bisognerà rivolgere il prisma per avere di nuovo una sola immagine con orine differentemente cariche di zucchero. A misura quindi che lo zucchero aumenterà o diminuirà nel corso della malattia, si sarà avvertito dallo strumento, che si potrà consultare sovente a seconda del bisogno, senza procedere per la via lunga e difficile dell'analisi chimica (1).

(1) Ved. BIOT *Instructions pratiques sur l'observation et la*

1093. Tutte queste scoperte non han servito solo a fondare delle teorie scientifiche, ma hanno anche prodotto delle utili applicazioni. Biot infatti ha inventato il *colorigrado*, specie d'istrumento atto a paragonare e ridurre in una maniera precisa i colori proprii de' corpi a quelli che si manifestano colla polarizzazione mobile ed agli altri degli anelli colorati. Profittando ARAGO dei colori tratti dalle lamine sottili ha trovato il modo di conoscere esattamente l'eguale intensità di due raggi, scoperta molto importante per la *fotometria*. Divide egli dapprima ogni raggio in due immagini colorate, una per esempio verde e l'altra rossa, e poi combina il verde della prima col rosso della seconda; poichè nel caso d'eguaglianza dei raggi primitivi si riproduce il bianco come se si producessero i due colori dallo stesso fascetto. Addettosi poi questo autore alla soluzione di parecchie quistioni relative allo stato de' corpi celesti, ha ricercato per esempio, se la luce di una cometa sia diretta o riflessa; se quella del sole derivi dalla materia dell'astro, o da un'atmosfera che lo circonda; ed ha così conosciuto che la luce delle comete è polarizzata come se fosse riflessa da una massa di vapori poco densi, che ricevano la luce del sole; e trovando questa priva di polarizzazione, l'ha somigliata a quella dei gas infiammati, che del pari non ne mostrano; e l'ha creduto diversa dall'altra emanata dai solidi o liquidi candenti manifestando questa molti

mesure des propriétés optiques appelées rotatoires, et leur application à la chimie médicale, scientifique, et industrielle, Paris 1845.

raggi polarizzati. Questa luce debb' essere al certo in gran parte polarizzata, non emergendo solo dalla superficie de' cennati corpi, ma anche dall' interno della loro massa; per cui dovendo le sue molecole attraversare strati materiali di una data profondità non possono evitare l' azione delle cause polarizzanti.

1094. Non è finalmente da trasandarsi che anche i raggi calorifici sono suscettibili di polarizzarsi. Facendo il Prof. MELLONI passare i raggi del calorico attraverso le lamine di mica, ha dimostrato che n' emergono polarizzati, talchè posseggono la proprietà di traversare, o no, le lamine di tormalina, secondo le varie posizioni dell'asse della tormalina riguardo al piano in cui i raggi calorifici trovansi polarizzati. È questo un nuovo fatto di analogia fra la luce ed il calorico, che rende più intimi i legami, con cui i fisici moderni tendono a rannodare ad un principio unico i fatti relativi ai due fluidi.

CAPITOLO XII.

DELLA DIFFRAZIONE DELLA LUCE.

1095. Avendo il GRIMALDI osservato il primo che i raggi luminosi passando d' appresso alle estremità de' corpi soffrono certe inflessioni, per cui si allontanano dal loro retto cammino, fu il primo ad esaminare attentamente le circostanze di questo fenomeno (1). In-

(1) *Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride* . . . Bologna 1665 propos. 1. m. 7 e seguenti.

trodotto all' uopo per un forellino in una camera oscura un fascetto di raggi , alla distanza di otto o nove piedi vi accolse normalmente all' asse la base del cono lucido su di un vetro spolito. Guardando dietro questo vetro vide un' impronta circolare bianca , molto più ampia di quello che sarebbe stata se l' andamento de' raggi fosse stato rettilineo , e circondata di cerchi concentrici di vario colore , che si restringeano col- l' impronta a misura che il vetro si avvicinava al forellino.

1096. L' assieme di queste modificazioni snbite dalle particelle luminose , passando vicino alle estremità de' corpi, fu detto *diffrazione della luce*, i di cui fenomeni principali sono secondo l' esposto fatto alcune alternative di ombre e di luce, dette *bande* o *frange*, comprendendosi sotto la prima denominazione gli spazietti distintamente luminosi o scuri , e sotto la seconda i loro complessi.

1097. A meglio osservare i fenomeni della diffrazione s' introduce orizzontalmente in una camera buia attraverso una lente convessa AB (Tav. 14 fig. 17) di corto foco e circondata da un gran diaframma CD un fascetto di luce solare , e volendosi sperimentare con luce omogenea , per esempio rossa , si fa prima attraversare dal fascetto un vetro rosso EF. Dal foco G della lente s' inoltra nella camera un cono di luce gradatamente divergente. Presentando al cono a qualche distanza dal foco la lamina opaca HI col margine I dritto e tagliente, e ricevendosene l' ombra sul cristallo smerigliato KL, si osserva che 1.° La retta GIM che dovrebbe determinare l' ombra geometrica non separa realmente

l'ombra dalla luce: 2.° Lo spazio ML corrispondente al corpo opaco, non è nero sul vetro, perchè rischiarato da una degradazione sensibilissima di luce, che si estende molto al di là del punto M: 3.° Spesso si hanno nell'altra parte del vetro MK sei o sette bande alternativamente brillanti $a, a, a...$ ed oscure $c, c, c...$, d'intensità tanto minore quanto più s'allontanano da M: 4.° Si hanno gli stessi effetti qualunque sia il colore della luce omogenea: 5.° Variano con questo di larghezza le bande oscure e brillanti: 6.° Dalla massima larghezza delle rosse si giunge gradatamente alla minima delle violette; e se la luce è bianca prendono le frange diversi colori.

1098. Mettendosi del pari a poca distanza dal foco G (Tav. 14 fig. 18) ed in direzione parallela al piano, il corpicciuolo opaco ab , come un capello, od un filo metallico di picciolissimo diametro, 1.° si osserva l'ombra più ampia di quella che dovrebbe essere nel caso in cui si movessero i raggi in linea retta; 2.° veggonsi delle bande colorate *esterne*, o fuori dell'ombra; 3.° e nello spazio geometrico dell'ombra, delle frange alternativamente brillanti ed oscure, dette perciò *interne*.

1099. Se poi messi a poca distanza tra essi i lembi taglienti di due lamine d'acciaio, si fanno passare in mezzo ad essi le parti più centrali di un fascetto di lucidi raggi, si osserva la luminosa impronta formata sul vetro contornata di sottili bande bianche più lucide del resto. Ed avvicinati di più i lembi taglienti, si cangiano le linee in distinte frange colorate, che si gettano tanto più nell'ombra quanto più le lamine sono tra esse vicine.

1100. È da notarsi in fine, che le bande brillanti ed oscure alternano, ed allontanandosi il vetro od il cartone su cui si ricevono, s'allontanano movendosi in linea curva convessa in fuori (Tav. 14 fig. 17 e 18).

1101. Provano questi sperimenti, che i raggi lucidi radendo gli orli ed i lembi de'corpi opachi deviano dal loro sentiero rettilineo, si piegano in fuori ed in dentro, e producono delle bande or più or meno lucide ed oscure secondo la varia distanza del piano, su cui si proiettano le ombre e le frange. Ripete NEWTON questi fenomeni dalla consaputa reciproca attrazione e repulsione dei corpi e della luce, per cui passando i raggi dappresso ai margini de' corpi si inflettono (1). I raggi inflessi successivamente intersecandosi costituiscono delle curve che limitano l'ombra visibile, e non sono che le *caustiche de' raggi inflessi*. Produconsi le frange, perchè variamente inflettendosi ogni raggio nel suo passaggio vicino al margine del corpo opaco, le sue molecole sono gittate da ambe le parti dei punti di flesso contrario, o di altri determinati punti della stessa curva secondo lo stato degli accessi in cui si trovano, ed altre circostanze. Descrivendosi così delle caustiche, ognuna di queste intercettata su di un corpo opaco ad una certa distanza dipinge sullo stesso il massimo splendore della frangia. Gli intervalli fra le caustiche corrispondono al minimo splendore della frangia, ma non sono neri, perchè i raggi delle altre caustiche dopo di essersi incrociati sui confini dell'ombra e sulle frange interne progrediscono ed illuminano particolarmente

(1) *Opt. luc. lib. 3 quaestio 3.*

tutto lo spazio ulteriore. Così le frange sono meno numerose, e la degradazione de' colori più rapida che negli anelli colorati.

1102. Risultando però dagli esperimenti di non alterarsi i fenomeni della diffrazione dalla varia natura chimica, nè dalla massa e densità de' corpi, inapplicabile sembra l'esposta teoria. Sia difatti capello, o filo di ferro, sieno d'acciaio o di altra materia le due lamine, e sieno qualunque gli orli di un'apertura, i fenomeni sono sempre gli stessi. Per nulla vi contribuisce poi la forma dei corpi, avendo secondo FRESNEL le bande diffratte lo stesso splendore e la medesima posizione, provengano esse dal taglio o dal dorso di un rasoio. E secondo i risultati ottenuti da HALDAT l'azione calorifica, elettrica o magnetica non ha luogo in tali fenomeni (1). Non potendosi dunque attribuire la diffrazione alla scambievole attrazione e ripulsione dei corpi e della luce, fa d'uopo convenire che la teorica del NEWTON è tuttavia poco idonea per darne una soddisfacente ragione, alla quale però soddisfa l'opinione di quelli che la spiegano col principio delle interferenze, che sarà altrove esposto.

CAPITOLO XIII.

DELL' OCCHIO E DELLA VISIONE.

1103. È l'occhio quell'organo con cui veggonsi gli oggetti, o per mezzo del quale se ne ricevono le im-

(1) *Bibl. Univers.* t. 42 p. 342.

pressioni. È desso uno strumento ottico composto di varii pezzi diafani , di tale curvatura e densità che mentre vi si concentrano i raggi luminosi tramandati dagli oggetti, e se ne dipingono le immagini su d'una tela nervosa , che ne fa avvertire l'impressione , insensibili si rendono le aberrazioni di sfericità ed di refrangibilità.

1104. Concentrando qualunque strumento ottico, anche il più perfetto, meglio i raggi vicini al suo asse; è provveduto l'occhio di museoli sottomessi alla volontà che lo dirigono verso gli oggetti che si vuol vedere. Situato nella parte anteriore della faccia per dirigere, come un pilota, gli atti degli organi locomotori , giace in una cavità ossea, detta *orbita*, che lo mette al coverto di ogni urto. Involto in una sostanza grassa compressibile, per cedere facilmente all'azione de' museoli che lo dirigono, nulla soffrendo ne' suoi movimenti , è preservato dall'immediato contatto de' corpi che possono lederlo , da una specie di cortine mobilissime che si alzano e si abbassano colla rapidità del pensiero. Queste cortine chiamate *palpebre* sono adorne di peli, detti *ciglia*, che vietano l'introduzione accidentale di tutti i piccioli corpi o della polvere che offenderebbe o macchierebbe la sua superficie. Insinuandovisi qualcuno di questi corpicioli, ne è immantinente trasportato fuori da abbondanti lagrime versatevi da organi all'uopo disposti, e destinati ancora a mantenere sul globo dell'occhio quella lieve umidità necessaria ad impedirne il disseccamento pel contatto dell'aria, ed a conservare la levigatezza della sua superficie per la regolarità delle refrazioni. Ad impedire infine che il sudore della fronte bagni ed irriti un organo sì delicato, nella parte superiore della cavi-

tà che lo rinchiude è disposto un arco convesso, vestito di ruvidi peli, chiamato *sopraciglio*, che da una materia grassa ed oleosa continuamente bagnato più atto si rende a tale ufficio.

4105. L'organo poi estratto dalla sua cavità presenta presso a poco la forma di un globo provveduto di vene e di arterie che l'alimentano, e di muscoli che lo muovono. Questo bulbo si compone di più membrane. La prima AB, AB (Tav. 45 fig. 1), dura, biancheggianti, elastica, lamellare, dicesi *sclerotica* o *cornea opaca*. Diafana, sottile e più convessa nella parte anteriore al vetro somiglia di una mostra, come si osserva in AA (1), ed il nome prende di *cornea trasparente*. Ricoperta questa da altra pur trasparente membrana detta *adnata* o *albuginea* costituisce il bianco dell'occhio. È unita alla sclerotica dalla parte interna una seconda membrana di tessuto villosa chiamata *coroide*, che nereggiata per la *membrana di Ruischio* ad essa aderente. Termina la coroide in *aa* sotto la protuberanza della cornea trasparente in un anello membranoso, pianeggiante, detto *uvula*, che porta l'*iride*, un cerchietto cioè colorato, avente nel centro la *pupilla*. È questa un foro posto tra *a* ed *a*: potendo restringersi e dilatarsi per mezzo di alcune fibre, determina il numero de' raggi penetrabili nell'occhio, serbando però sempre in ogni modo la forma circolare (2). Presso la superficie interna della coroide

(1) Secondo gli esperimenti e le misure di CROSSAR la protuberanza della cornea trasparente è conformata al pari di un ellissoide di rivoluzione intorno l'asse maggiore. *Ann. de Chim. et de Phys.* t. 10 p. 337.

(2) È questa la descrizione dell'occhio umano.

è la *retina bb*, delicatissima e trasparente membrana nervosa, composta di fibre sottilissime miste con molta sostanza midollare. Si reputa essa una espansione del *nervo ottico*, il quale costando al pari degli altri nervi di sostanza midollare e corticale viene nell'occhio dal cervello attraversando un foro BB della corioide, della sclerotica e dell'osso orbitale. Vi ha sotto l'iride un allungamento della corioide, detto *ligamento ciliare*, destinato a sostenere la *lente cristallina cc*. È questa lente convergente un corpo diafano più convesso dalla parte posteriore che dall' anteriore, e situato in modo da coincidere il suo asse con quello dell'occhio, e da unire i centri della pupilla e del bulbo (1). Divide quindi

(1) Secondo la recente analisi di BENZELIUS i principii costituenti la lente cristallina sono, materia particolare coagulabile albuminosa, una materia estrattiva solubile nell'alcolle, un'altra solubile nell'acqua, l'acqua, l'idroclorato di soda, il fosfato di calce, una specie d'alcali non peranco definita. Tutti questi componenti sono riuniti in un sottile involucro trasparente, la di cui struttura è regolarmente fibrosa. La lente n'è molle sino a circa 23 anni; e diminuendosene gradatamente la mollezza, a 60 anni suol essere di molto indurita. Rossastra nei neonati, si rende ben presto decoloro restando così sino a 25 o 30 anni, al di là de' quali a poco a poco ingiallendo, all'età di 80 anni circa prende il color di ambra. Secondo WOLLASTON (*Phil. Trans. fort. the year 1802*) la sua densità non è uniforme, ma è maggiore nel centro. Divenendo talora opaca, ne risulta una specie di cecità detta *cataratta*, guaribile sia coll'estrazione della lente, sia colla sua depressione nel fondo dell'occhio fatta in modo da liberare l'apertura del cerchio cigliare. Potendo la luce penetrare così di bel nuovo nell'occhio, si ristabilisce la vista benchè senza quel grado di perfezione risultante dal concorso del cristallino alla rifrazione de' raggi luminosi. Rea

l'occhio in due cavità, posteriore l'una e maggiore, *cbbc*, anteriore l'altra e minore, *AaccaA*. Riempie la prima cavità un umore trasparente, mucillaginoso e decoloro, detto *umor vitreo* (1) contenuto nell'ammasso celloloso della sottilissima e trasparentissima membrana *jaloide*, su cui la lente poggia. È piena la seconda di un liquido trasparente, inodoro, alquanto salso detto *umor acqueo* (2), perchè di una gravità e forza refrattiva quasi eguale a quella dell'acqua secondo gli ultimi esperimenti di BREWSTER e di BORDON (3). Sei muscoli infine, de' quali quattro retti e due obliqui, investendo esternamente il bulbo dell'occhio, atto lo rendono ai diversi movimenti.

1106. Destinato quest'organo a servire all'anima di strumento per le impressioni visuali, i raggi luminosi sono i mezzi all'uopo opportuni. Costando di tre mezzi variamente refrangenti, facilmente s'intendono i fenomeni anteriori alla sensazione. Scagliati i raggi da un

questa parte opaca nel caso della cataratta contiene la materia albuminosa coagulata. In parecchi altri funesti casi si è il cristallino coagulato, e reso opaco ad un tratto per della polvere da schioppo bruciata presso dell'occhio, o dell'acqua bollente, o de' vapori d'acqua calda messi in contatto dell'organo, senza essersi riscaldato fino al punto del coagulo.

(1) Costa l'umor vitreo di acqua, d'idroclorato di soda, di poca materia estrattiforme, d'albumina e di una sostanza solubile nell'acqua non peranco caratterizzata.

(2) Il peso specifico dell'umor acqueo dell'uomo secondo CHENEVIX è di 1,0053. Giusta l'analisi di BERZELIUS si compone di acqua, d'idroclorato di soda con piccola traccia di estratto alcoolico, di materia estrattiva solubile nell'acqua, e di una traccia d'albumina.

(3) *Edinb. Phil. Journ.* t. 1. p. 42.

corpo luminoso o riflessi da un corpo illuminato attraversano la cornea, e penetrando nell'occhio soffrono tre refrazioni pel triplice passaggio dall'aria nell'umore acqueo, da questo nella lente cristallina, e da questa infine nell'umore vitreo. Sia infatti l'oggetto ACB messo avanti l'occhio e nella direzione del suo asse (1) (Tav. 15 fig. 2). Non essendovi punto che non mandi all'occhio una piramide Incida (§. 902), di tutte queste piramidi, a scanso di confusione non si considera composta di tre raggi che quella spiccata da C; non riguardandosi delle altre due partite dagli estremi A e B che i soli assi AF, BE. Or di queste tre piramidi i rispettivi raggi CD, AF, BE, che ne sono gli assi non soffrono alcuna refrazione, cadendo normali sull'occhio (§. 963), ed irrefratti s'inoltrano sino al suo fondo. Non è però lo stesso dei due raggi obliqui CF, CE, che fan parte della piramide di mezzo. Cadendo essi sulla cornea, e più sull'umore acqueo si rifrangono per avvicinarsi alle rispettive perpendicolari (§. 963), e perdendo la loro divergenza paralleli si rendono o convergenti, onde si torcono per FG ed EI. Comunque cadano quindi i raggi sull'occhio, per la prima refrazione s'insinuano alcuni nella pupilla; dall'umore acqueo s'introducono obliquamente nella lente cristallina, ove si rifrangono di nuovo, avvicinandosi alle perpendicolari corrispondenti, onde prendono il sentiere GK, IL; nel passaggio cioè pel cristallino i convergenti tali sempre più divengono, e tali rendonsi anche i paralleli. Uscen-

(1) Dicesi *asse dell'occhio* la retta secondo cui esso dirigesì per vedere chiaramente gli oggetti.

do poi dalla lente cristallina per entrare nell'umor vitreo di minore densità, i raggi si rifrangono, per allontanarsi dalla perpendicolare (§. 963). Deviando dunque i raggi GK ed IL dalle rispettive normali Bb ed Aa, convergono per la terza volta, e si riuniscono come in un foco nel punto c. Avvenendo lo stesso per le piramidi partite dai punti A e B e dagli altri a questi intermedi, si dipinge in fondo della retina l'immagine *acb* dell'oggetto ACB, rovesciata, per l'intersezione degli assi delle piramidi lucide nel centro della lente cristallina (§. 905).

1107. Questa descrizione risultante dalle note leggi della refrazione e dalla struttura dell'occhio è provata dagli esperimenti istituiti sugli occhi di parecchi bruti. Tolta infatti dall'occhio di un bue una parte della sclerotica e della corioide, veggonsi dipinte a rovescio sulla retina le immagini degli oggetti convenientemente situati innanzi la pupilla. Risulta più utile questo sperimento istituendosi sull'occhio del coniglio o del topo bianco, che ha la sclerotica trasparente.

1108. Dipingendosi due immagini negli occhi, ed ambe rovesciate, si è cercato d'indagare come si vegga intanto un solo oggetto e questo dritto. Per dar ragione di questo fenomeno si è opinato da alcuni, che dipingendosi sulla retina le immagini degli oggetti vi si ecciti un moto che trasmesso dal nervo ottico al cervello, e propriamente ai turbereoli quadrigemelli procuri all'anima la sensazione della vista; e da altri, che i raggi scagliati dagli oggetti producono sulla retina o per un urto meccanico od in un altro modo qualunque una modificazione, per cui l'anima *sente*, e questa sensazione è

seguita dalla percezione. È quindi manifesto che contemplandosi, giusta i principii dei valenti Filosofi di Edimburgo REID (1) e STEWARD (2) nella percezione l'oggetto e non già le immagini che rovesciate si dipingono nella retina; debbesi quello vedere unico e dritto quale egli è. Ed invero senza confondere l'immagine colla sensazione, riferendo noi la posizione degli oggetti alla direzione dei raggi, non vediamo l'immagine *bca* (Tav. 15 fig. 2); e dirigendoci lungo questi avvertiamo i punti A, C, B, e tutti gli altri intermedi, e vediamo quindi gli oggetti nella situazione in cui sono. Se poi premendosi un'occhio si vede raddoppiato l'oggetto per le diverse impressioni non fatte precisamente ne' luoghi corrispondenti delle due retine; vi è luogo a conchiudere che la somiglianza delle impressioni fatte sui due nervi ottici renda unica la sensazione dell'oggetto.

1109. Essendo per altro chiara e distinta l'impressione cagionata dalla unione de' raggi di ciascuna piramide lucida che parte da ogni punto dell'oggetto; per la chiara e distinta visione la luce far non deve sulla retina un'impressione troppo debole, nè troppo forte secondo lo stato di sua sensibilità. Se in fatti i raggi componenti le piramidi lucide, che partono da un dato oggetto, son pochi, vi fanno una debole impressione, che indebolendo la sensazione fa vedere l'oggetto confusamente. È per ciò che dotati siamo della cornea convessa e di una pupilla dilatabile per far entrare nell'occhio

(1) *Saggi sulle facoltà intellettuali, ec.*

(2) *Elementi di Filosofia dello spirito umano.*

maggior copia di raggi. Quindi s' intende perchè non possiamo veder distinti gli oggetti lontani, non mandando essi all'occhio che pochi raggi (§. 904). Irritando poi molta luce il sensorio, abbaglia; onde per garantirci dalla moltitudine de' raggi sogliamo stringere la pupilla. Inoltre le forti impressioni fatte sulla retina ne diminuiscono la sensibilità, alterazione riguardata da DARWIN come affezione spasmodica; ond'è che guardandosi un oggetto molto luminoso si resta per qualche tempo incapace di vederne un' altro; e passando dall'aperta luce del giorno all'oscuro, non si può per qualche tempo vedere, sì perchè gli spettri degli oggetti veduti al gran lume turbano le deboli impressioni de' corpi poco illuminati, e la pupilla tuttora contratta dalla gran luce non permette che il passaggio di pochi raggi; ma anche perchè la sensibilità della retina è diminuita dalle forti impressioni degli oggetti molto illuminati.

1110. Conserva l'occhio le impressioni che riceve, e per tanto maggior tempo per quanto sono più forti. Girandosi infatti all'intorno un ferro candente od un carbone acceso, si osserva un cerchio lucido; e se dopo di essersi guardato per uno o due minuti qualche oggetto luminoso o molto illuminato, chiudonsi gli occhi o si rivolgono altrove, si continua a vedere per un certo tempo una immagine simile all'oggetto, detta da DARWIN *spettro oculare*, il che non potrebbe avvenire senza la durata della impressione (1). L'impressione però

(1) M. D'ACRY ha trovato durante circa $\frac{1}{8}$ di secondo la impressione prodotta dalla luce sull'occhio. PLATEAU di Bruxelles ha rinvenuto le seguenti proporzioni: Fiamma=0",242; Carbone ardente=0",186; Giallo=0",173; Rosso=0",184.

di tutti i colori non dura egualmente, e non sembrano tutti i fiocchi nervosi capaci della loro impressione. Passando infatti all'oscuro dopo di aver guardato il sole, se ne vedono ad occhi chiusi gli spettri giallo chiarissimo, giallo torbido, aranciato rosso, violetto, indaco, azzurro, con quell'ordine con cui l'impressione de' diversi colori gradatamente si estingue. Costa poi che delle persone non vedono tutti i colori, od almeno non li veggono come tutti gli altri. Il poeta CARLEDEAU non distinguea il rosso; l'illustre DALTON avea lo stesso difetto; e QUETELET assicura che un calzolajo nel Cumberland nomato HARRIS non distinguea che il bianco ed il nero. Non trasmettendoci dunque tutti i fiocchi nervosi l'impressione d'ogni colore, quando le fibre destinate a darci quella di un dato colore sono paralizzate, l'occhio non può vederlo, e la sensazione si altera (1). I varii fenomeni de' colori accidentali provano il fin qui detto, e ne sono spiegati. Se dopo di aver guardato a lungo una carta rossa su di un piano bianco, si rivolgono gli occhi a questo; apparirà esso di colore verde-azzurro, complementario del rosso (§. 4056). Ond'è che i fiocchi nervosi atti a ricevere l'impressione de' raggi rossi, defatigati e stanchi non possono più trasmetterne l'impressione. Guardandosi poi il bianco tutt'i colori eccetto il rosso fanno una impressione sulla retina; ed ottenendosi dal mescolgio degli altri co-

(1) Suppone qualche autore che gli umori o le membrane dell'occhio possano in alcuni casi assorbire qualche raggio, per cui non faccia impressione sulla retina (*Edimburgh's Jour. of sci. ec. t. 4. p. 86*); ma questa opinione non è preferibile alla esposta.

lori senza il rosso il verde-azzurro, si mostra di questo colore tinta l'immagine del piano (§. 1058).

4114. Per vedere distintamente gli oggetti si richiede inoltre che ognuna delle piramidi lucide da essi emesse abbia il suo foco in un punto unico della retina. Se i raggi d'ogni piramide convergessero in modo da unirsi prima o dopo di giungere sulla retina, le piramidi contigue si rimescolerebbero fra esse, e frastagliandosi, confonderebbero le varie impressioni cagionate dai raggi partiti dai varii punti dell'oggetto, e confusa sarebbe di questo l'immagine. Cangiano di sito il foco de' raggi rifratti al pari della distanza degli oggetti (§. 990), non si possono veder chiaro gli oggetti posti a varie distanze: cioè s'ignora come lungi dal dipingersene le immagini al di qua o al di là della retina, ciò accade sempre su di questa, benchè disposti siano essi a diverse distanze. Si crede seguire una variazione nella conformazione dell'occhio variando notabilmente la distanza dell'oggetto che si guarda, ma s'ignora in che tale variazione consiste. Suppone taluno che i processi ciliari avvicininno ed allontanino la lente cristallina dalla retina secondo il bisogno; ma quest'attitudine è impossibile, non essendo muscolari tali processi. T. YOUNG, e con esso molti Anatomici, per l'analogia organizzazione della lente cristallina e dei muscoli credono quella capace di contrarsi come questi, e d'acquistar quindi varii gradi di convessità per serbare inalterata la sua distanza focale (§. 993). Ma la perdita della lente per l'operazione della cataratta non cagionando quella della vista a varie distanze, non sembra legittimare questa opinione. Non è poi più plausibile l'altra, che ripete questo fenomeno

dalla variazione di tutta la forma dell'occhio, attesa la natura della sclerotica, dura in tutti, cartilaginea, e perfino ossea in alcuni animali. Alla contrazione o dilatazione dell'iride, causa d'aumento o di decremento nella convessità della cornea, si oppongono degli esperimenti del lodato YOUNG. Considerando TRAVERS (1) l'iride come un organo muscolare, unito ad una specie d'anello interno, che possa colla sua contrazione aumentare la convessità del cristallo, opina che le variazioni di convessità così prodotte nel cristallino rendono l'occhio conformato in modo da vedere distintamente gli oggetti posti a varie distanze. Ma BRAEWSTER conchiudendo dietro varii esperimenti e ragionamenti che le contrazioni e dilatazioni della pupilla danno all'occhio la conformazione necessaria per vedere sì da lontano che da vicino, crede di non poter ciò seguire per un aumento di convessità della cornea o della lente cristallina, ma probabilmente perchè restringendosi o dilatandosi la pupilla secondo la vicinanza o lontananza degli oggetti, si allontana o si avvicina la lente alla retina (2). Benchè le ricerche anatomiche di D. KNOX sulla base della pupilla sostengano questa opinione, è dessa smentita dalle pupille artificiali, e da quelle morbosamente aderenti alla capsula della lente, non suscettibili di queste contrazioni. Quest'ultima osservazione si oppone anche al pensiero di LA-HIRE, il quale sostiene che contraendosi l'iride può lasciar entrare alcuni raggi più o meno divergenti; poichè scemando di estensione l'apertura del-

(1) Mem. letta alla Soc. R. di Londra in febbrajo 1815.

(2) Memoria letta alla Società Reale di Edimburgo al 15 dicembre 1823.

la pupilla, può la vista esser distinta, benchè non sia più il foco sulla retina (1). Questa somma disparità di opinioni ha dato luogo alla nuova teoria della visione di LEOT (2), opinione cioè di non essere la retina, ma l'omor vitreo l'organo immediato della sensazione della vista. Non potendo noi dare su' quest'ardita ipotesi alcun giudizio, non ci resta che a conchiudere, di dover-si fare uno sforzo nella variabile distanza degli oggetti che si guardano, per ridurre l'occhio alla conformazione necessaria alla loro distinta visione, e d'ignorarsi le circostanze tutte del potere d'aggiustamento, di cui non può dubitarsi esser lo stesso fornito.

1112. Concorrendo l'esperienza, il tatto e gli altri sensi a rettificare e perfezionare l'idea della grandezza, della distanza, e della forma degli oggetti veduti; nella mancanza di questo concorso valutiamo questa grandezza e distanza coll'angolo ottico (§. 905). Essendo la sna quantità in ragion inversa di quella della distanza, gli stessi oggetti debbono sembrare tanto più piccoli per quanto più s'allontanano, e formando coll'occhio un angolo di $4''$ si giunge a perderli di vista. Quindi la distinzione della grandezza in apparente e reale, in quella cioè valutata cogli angoli ottici e variante con essi, e nell'altra che costantemente si attribuisce agli oggetti. Perciò trovandosi in cima di un lungo viale, le due file di alberi A, C, E... B, D, F... (Tav. 45 fig. 3) che lo

(1) Sembra probabile questa ipotesi, potendosi ben distinguere nella camera ottica gli oggetti situati a varie distanze.

(2) *Giorn. di Fis. e Chim. di Pavia*, t. 5. pag. 161, e t. 17. p. 290.

adornano da ambe le parti, benchè equidistanti, sembrano tra esse convergenti, e se il viale è lunghissimo sembrano in contatto all'altra estremità. Gli intervalli AB, CD, EF... posti tra due alberi corrispondenti, sottono gli angoli visuali AOB, COD, EOF, che scemando progressivamente si rendono finalmente ad una grandissima distanza insensibili. Vedendosi egualmente un solo piano, come una superficie d'acqua molto lunga, sembra questa elevata ne' punti più lontani dallo spettatore; paragonandosi in tal caso questo piano colla linea di livello che passerebbe per l'occhio, e che fa le veci di un secondo piano in cui sembra d'avvicinarsi il primo. Si può così rendere ragione di molte altre illusioni ottiche che si parano ordinariamente innanzi a qualunque osservatore. Trovandoci per esempio ad una certa distanza da una salita, ci sembra essa più lunga di quello che ci parrebbe se fosse la strada a livello coll'orizzonte; perchè rappresentando AB (Tav. 45 fig. 4) la situazione orizzontale e la lunghezza del terreno, ed A'B la sua posizione inclinata, l'angolo visuale AOB è minore dello A'OB della seconda situazione. Benchè però un oggetto lontano ci sembri piccolo per l'illusione dell'angolo ottico; pure sapendo qual esso sia e come sia, rettificare possiamo il giudizio della sua grandezza. Un marinaio infatti guardando il mare vede e riconosce un vascello ove tutti gli altri non veggono in confuso che una nuvoletta. L'esperienza quindi e l'abitudine emendar possono le false apparenze di nostra vista.

1113. Se le abitudini rettificano talvolta gli errori della vista, possono anche talvolta produrli. Avvezzi a veder confusi gli oggetti lontani, e chiari e precisi i vicini

crediamo talora un oggetto a noi vicino solo perchè è molto rischiarato, e crediamo al contrario più lungi del vero un oggetto che tramanda poca luce. Perciò una fiaccola comparisce di notte tempo sempre molto vicina benchè lontanissima. Con questi principii giungono i dipintori a rappresentare in un quadro, ossia in un piano, tutti gli oggetti situati a varie distanze in un vasto orizzonte, illuminandoli più o meno, e terminandone con maggiore o minore esattezza e precisione le parti.

1114. Avvezzi ancora ad estimare le varie distanze degli oggetti dalle diverse impressioni prodotte sui nostri organi da' raggi che da ogni lor punto ci pervengono, reputiamo talora curve le rette assai lontane. Attese in fatti le impressioni egualmente deboli in noi fatte dai raggi provenienti dai punti di una retta ben lontana, si credono questi da egual distanza partiti, onde vedesi la linea retta come un'arco il di cui centro è riposto nell'occhio. Perciò un'ampia pianura scorgesi sempre terminata da una circonferenza, ed il piano orizzontale è sempre di figura circolare. Non ravvisandosi per la distanza gli angoli e le flessuosità degli oggetti, il sole e la luna che sono corpi sferici ci sembrano piani circolari, e regolari ci sembrano gli oggetti mal contornati se si guardano da lontano.

1115. Un'altra sorgente non meno feconda di ottiche illusioni è il moto de' corpi. Supponendosi primieramente che nel muoversi, per esempio, un uomo da sinistra a destra, benchè in un modo insensibile, guardi un oggetto immobile; poichè in tal caso si trova questo sempre più alla sua sinistra, l'occhio suo riceverà la stessa impressione come se essendo immobile avesse vedu-

to muoversi il corpo da destra a sinistra. In generale movendoci senza accorgercene, riferiamo i nostri moti in parti contrarie ai corpi che ci circondano. Così stando fermi in una barca che si muove, vediamo gli alberi, le fabbriche ed ogni altro oggetto avvicinarsi a noi, passarci d'avanti, od allontanarsi, secondochè la barca è trasportata con moto contrario (4). Atteso il moto reale della terra intorno al suo asse si è così spiegato il moto apparente annuo e diurno che sembra fare il sole sull'eclittica.

4116. Se lo spettatore credendosi sempre in riposo faccia un moto espresso da AB (Tav. 45 fig. 5), e nello stesso tempo un oggetto situato ad una certa distanza percorra lo spazio ab ; sarà AD il raggio visuale, nella cui direzione vedrà l'oggetto al principio del moto, e BE quello in direzione del quale lo vedrà nel fine di esso. Se dunque le relative situazioni e la lunghezza delle linee AB , ab son tali che s'incrocino i due raggi in un punto C , sembrerà allo spettatore di essersi mosso l'oggetto da sinistra a destra, ossia da D verso E , in direzione cioè opposta alla ab del moto reale. Supponendo poi che lo spettatore scorra AB (Tav. 45 fig. 6), mentre l'oggetto si muove per ab , in direzione cioè contraria; se egli fosse immobile, i raggi visuali relativi ai due estremi del moto dell'oggetto sarebbero AaD , AbE , in modo da giudicare dell'ampiezza di un tal moto dal-

(4) Perciò i naviganti descritti da VIRGILIO dicevano che nell'uscire dal porto le terre e le città si allontanavano dai loro occhi:

Provehimur portu; terraeque urbesque recedunt.

Aeneid. lib. III. v. 72.

l'apertura dell'angolo bAa ; ma avendo egli percorso A B , i due raggi visuali saranno AD e BF , e l'angolo d'onde arguire la grandezza del moto sarà DCF , od il suo eguale ACB , maggiore dell'angolo bAC , che sarebbe quello del caso d'immobilità dello spettatore per eguagliare la somma degli angoli $bAC + A\delta C$. Lo spettatore dunque troverà il moto dell'oggetto più rapido del vero. Supposto infine che il moto AB (Tav. 15. fig. 7) dello spettatore e quello ab dell'oggetto sieno per lo stesso verso, e che le due linee, direzioni di questi moti, sieno combinate coi tempi impiegati a scorrerle, in modo da rendere continuamente tra loro paralleli non solo i raggi visuali AaC , $B\delta D$ relativi ai due estremi del moto, ma anche tutti gli altri che si riferiscono ai punti intermedi; comparirà in tal caso immobile l'oggetto allo spettatore, ed egli stesso in riposo.

1117. Camminando del pari ed osservando un oggetto lontanissimo da noi ed in quiete od in moto per noi insensibile, sembra correre esso con noi e dalla stessa parte; come avviene per esempio quando camminando guardiamo la luna. Il raggio visuale diretto in tal caso sempre a quest'astro, fa con esso a misura che cangia situazione angoli sì piccoli per l'immensità della distanza, che le sue direzioni sono sensibilmente tra esse parallele, onde sembra muoversi la luna sull'estremo di questo raggio; e sentendo il moto dell'occhio, da cui esso parte, ne attribuiamo uno simile alla luna. Tal'è l'organo della vista quando solo e senza estraneo soccorso esercita le sue funzioni.

CAPITOLO XIV.

DEGLI STRUMENTI OTTICI.

4118. Situato l'osservatore rimpetto ad un vastissimo campo, sparso di oggetti di ogni grandezza, forma e colore, passa questa scena interamente ed in un istante indivisibile nel fondo del suo occhio, dipingendovisi su di uno spazio incomparabilmente minore di un solo di quei tanti oggetti veduti; ed i raggi che per trasportarne l'immagine da essi vi pervengono, o meglio da ogni punto di ciascun d'essi, attraversano in folla la piccola apertura della pupilla senza alterarne l'armonia. E l'occhio fra tutti questi svariati linguaggi, che quasi gli parlano tanti diversi oggetti, intende ciò che vuol dirgli ognun di essi; avverte distintamente in quest'immenso ammasso tutti i dettagli sino ad unirli e separarli a piacere; e lo stesso contrasto che il moto degli uni forma coll'immobilità degli altri affatto non turba questa specie di commercio. Ad onta però di questi pregi non può l'occhio riguardarsi come un organo perfettissimo, benchè nello stato normale. Per la sua conformazione gli sfugge la visione degli oggetti assai lontani, o troppo piccoli. Limitato quindi il campo di questa, un nuovo mondo si asconde ai suoi sguardi. L'arte però estendendo un poco più il potere dell'occhio, ha saputo procurargli nuove maniere di vedere.

OCCHIALI.

4119. Non v'è occhio ben conformato che col tempo non soffra qualche alterazione ; poichè disseccandosi i suoi umori e diminuendo quindi di volume, la cornea, e la lente cristallina si spianano , ed in questi mezzi alterati non rifrangendosi sufficientemente i raggi del cono lucido FCG (Tav. 45 fig. 8) , concorrerebbero in M se loro nol vietassero le membrane costituenti il fondo dell'occhio : onde occupandovi lo spazio KL, incapaci si rendono di produrre l'immagine del corpo raggiante C. Perciò quelli, a cui la vista comincia per l'età ad indebolirsi, e che diconsi *presbiteri* (1), possono leggere distintamente allontanando il libro dai loro occhi. Tramandati i coni di luce dai diversi punti della scrittura e della stampa, cadono negli occhi meno divergenti di quello che vi cadrebbero se il libro fosse ad essi più vicino; resi quindi più atti a convergere per la loro rifrazione negli umori dell'occhio , si avvicina tanto il loro punto di concorso da farli corrispondere sulla retina.

4120. Ma se la convessità della cornea si accresce per la grande abbondanza degli umori, od il potere rifrangente di questi s'augmenta per l'accresciuta densità o per altre cagioni , od infine la lente cristallina è più lontana dalla retina di quel che esige la concentrazione de'raggi su di questa ; i raggi del cono lucido aCb (Tav. 45 fig. 9) si rifrangeranno in modo da concorrere nel

(1) Da *Πρεσβυτης*, *senex*.

punto *c*, prima cioè di giungere sulla retina; onde dopo di essersi incrociati nel punto di concorso, procedendo per *cK* e per *cL* produrre non potranno la vista distinta del corpo luminoso *C*. Questa viziosa disposizione delle parti dell'occhio s'incontra spesso nei giovani, detti *miopi* (1). Perciò non veggono questi distintamente gli oggetti vicini, emettendo essi all'occhio raggi più divergenti e quindi meno atti a convergere per la refrazione nella lente cristallina e negli umori dell'occhio. Avendo inoltre i miopi la cornea più ed i presbiteri meno convessa, raccolgono quelli più raggi di questi; onde colla stessa quantità di luce può il miope e non il presbite veder chiaramente. Questo eccesso di luce che dagli occhi del primo si raccoglie, irritando la retina, l'obbliga a socchiuderli ed a stringere la pupilla per raccoglierne in minor numero e veder quindi distintamente.

1121. Ad ovviar dunque alla *presbitia* bisogna render più convergenti i raggi che penetrano nell'occhio ed accrescerne il numero; come per rimediare alla *miopia* devesi diminuirne il numero ed aumentarne la divergenza. Si producono rispettivamente questi opposti effetti dalle lenti convesse e dalle concave di tersissimo cristallo, appressandole convenientemente all'occhio, onde diconsi *Occhiali* (2). Opponendosi infatti all'occhio presbite la lente convessa *AB* (Tav. 15 fig. 8),

(1) Da *Μυωπαζω*, *nihil procul cerno*, deriva *Μυωψ* *connivens*.

(2) Rimonta la loro invenzione alla fine del decimo terzo secolo, e se ne riconosce l'autore in persona del Fiorentino SALVINO DEGLI ARMATI. V. TIRABOSCHI, *Storia della letteratura Italiana*, t. 4. p. 170.

i raggi CD , CE deviando dai loro sentieri DF , EG , che gli farebbero concorrere in M al di là della retina, per la forza convergente della lente (§. 983) si riconcentrano in I , nel fondo cioè dell'occhio. I raggi aC , bC (Tav. 45 fig. 9) seguendo parimente il loro natural corso ferirebbero la lente cristallina dell'occhio miope in a e b , onde si unirebbero in c , prima cioè di giungere sulla retina; ma opponendo all'occhio la lente concava AB , e divenendo essi pel potere rifrangente di questa più divergenti, cadranno sulla lente cristallina nelle direzioni DF , EG , onde formeranno il loro foco più in là di c , e propriamente in I al di sopra della retina. La curvatura poi delle lenti dev'esser tale da rendere convergenti o divergenti i raggi in modo da farli concorrere precisamente sulla retina.

1122. Or se la lente convessa rende convergenti i raggi che cadono su di essa, applicata sull'occhio del presbite aumentar deve il numero di quelli che vi penetrano; e la lente concava divergendo i raggi diminuir deve il numero di quelli che entrano nell'occhio del miope: onde nè troppo debolmente, nè troppo fortemente stimolano la retina dell'uno e dell'altro, come avverrebbe se non si facesse uso delle lenti. È questo un altro vantaggio dell'impiego convenevole degli occhiali.

1123. Inoltre la lente convessa AB (Tav. 43 fig. 3) rendendo men divergenti i raggi DA , EB scagliati dall'estremo dell'oggetto DE più ad essa vicino del foco principale, e rimettendoli nelle direzioni AO , BO , a riunirsi gli obbliga nel foco virtuale de , ove dipingono l'immagine dell'oggetto, che vedendosi dall'occhio

sotto un angolo ottico sotteso da $de > DE$, giudica maggiore la grandezza apparente. La lente concava all'opposto rendendo colla sua forza rifrattiva più divergenti i raggi EG , HI (Tav. 13 fig. 8) che partono dagli estremi dell'oggetto ECH li riunisce nel foco immaginario ch , ove dipingono l'immagine ech , che si vede invece dell'oggetto. E mostrandosi questa sotto un angolo ottico sotteso da ch minore del sotteso da EHI , sotto di cui senza la lente si vedrebbe l'oggetto, se ne diminuisce la grandezza apparente. È doppio dunque l'effetto delle lenti ossia degli occhiali; i convessi aumentano ed i concavi diminuiscono la grandezza dell'oggetto, ossia della sua immagine. E giudicandosi della distanza de' corpi dalla loro grandezza apparente (§. 1112), le immagini degli oggetti vedute nei fochi immaginari attraverso le lenti convesse sembrano più vicine, e vedute attraverso le concave sembrano più lontane. Mettono quindi esse l'oggetto da vedersi, alla distanza richiesta dalla natura dell'occhio onde la vista ne sia distinta.

1124. Coll'uso degli occhiali ordinarii non possono vedersi distintamente che gli oggetti posti sull'asse della visione. Essendo però la visione sugli orli sempre incerta per le grandi refrazioni che vi soffrono i raggi, fu astretto WOLLASTON all'invenzione degli *occhiali periscopici*. La superficie esterna di queste lenti imita la forma dell'occhio presentando all'incirca la stessa curvatura ai raggi da qualunque parte vi si dirigessero: la superficie interna è poi sferica e concava, talchè dovendo far le veci delle lenti convergenti si rende più curva la parte anteriore, o si fa questa meno curva doven-

do far le veci delle lenti divergenti (1). Benchè producano queste lenti un buon effetto e scoprano un gran campo , pure guardandosi per esse un oggetto molto luminoso , ripercuotono i raggi nell' ocello , e riunendosi questi vicinissimi alla retina vi formano delle nuove immagini tanto splendenti e distinte, da turbare l'unità e chiarezza della visione. Si è tolto questo inconveniente da CAUCHOIX , ottico Francese, coll' appianarne un poco la superficie esterna : portato così il foco de' raggi riflessi dietro la retina , lo scopo pienamente raggiungesi dell' inventore.

4425. Per quanto l' uso dell' occhiale si proponga il sollicio dell' ocello , d' altrettanto può essergli di nocumento. Ad evitarlo uopo è che la lunghezza focale eguagli presso a poco la distanza a cui l' ocello suol vedere più distintamente gli oggetti, e sian questi tanto vicini all' occhio che il suo asse coincida con quello rispettivo delle lenti. Gli occhiali , che hanno un foco troppo corto o troppo lungo riguardo al bisogno dell' occhio , lo stancano e danneggiano la vista. Non variando quindi lo stato fisico dell' occhio , variar non deve la struttura degli occhiali, ed al contrario. In generale tutto ciò che mette l' occhio in uno stato non naturale per distintamente vedere , gli è di nocumento.

4426. Si formano gli occhiali coi vetri colorati per diminuire l' impressione della luce sulla retina , minorando il numero de' raggi che la percuotono. Per esser utili questi occhiali non debbono trasmettere raggi troppo distanti nello spettro. Un vetro dunque che assor-

(1) *Archiv. des decouvertes* , t. 4. p. 344.

bisse , per esempio , i colori intermedi , trasmettendo soltanto i rossi ed i violetti , sarebbe nocivo. I colori trasmessi debbono produrre uno spettro più stretto colla maggiore illuminazione. BREWSTER ha dedotto da molti esperimenti , che il migliore di tutti è il vetro di colore gialliccio-verde , assorbendo gli estremi rossi e violetti dello spettro ; onde solleva l'occhio non solo diminuendo i raggi , ma rendendo anche più distinta l'immagine collo scemarne la confusione che la diversa refrangibilità de' raggi potrebbe produrre (1).

MICROSCOPIO SEMPLICE.

4127. È l'occhio costruito in modo che molti oggetti situati alla naturale distanza per la distinta visione, attesa la loro picciolezza e la poca luce che tramandano, non facendovi una sufficiente impressione, sfuggono allo sguardo del più attento osservatore. A render sensibile la loro impressione dovrebbero essere vicinissimi all'occhio ; ma non producono in tal caso che una confusa immagine, perchè i raggi componenti i coni di luce tramandati dai varii loro punti , risultando troppo divergenti , non possono abbastanza ripiegarsi negli umori dell'occhio per concorrere convenevolmente sulla retina. V'era dunque d'uopo , specialmente pel Naturalista , di uno strumento atto a correggere questo difetto dell'occhio ed a rendere quindi visibili i piccoli oggetti ; ed è questo il *Microscopio semplice* (2).

(1) *Edinburgh's Philos. Journ.* t. 6. p. 104.

(2) *Microscopio* deriva dal greco *μικρον* parvum o oxenus considera. Fu l'istrumento inventato dagli Accademici dei Lin-

1128. Costa esso d' una lente biconvessa CD (Tav. 45 fig. 10) nel di cui foco principale si colloca l' oggetto AB che si vuol esaminare. L'osservatore accostando l'occhio O all' opposta parte della lente, vede in $A'B'$ l' immagine dell' oggetto ingrandita. Se questo avesse tramandato i suoi raggi all'occhio senza l' interposizione della lente CD , vi sarebbero giunti con tale divergenza, per la molta vicinanza dell' oggetto all'occhio, che il potere rifrangente di questo non avrebbe potuto concentrarli sulla retina. Or essendo l' oggetto collocato nel foco della lente, i raggi spiccati da tutti i punti della sua superficie si rendono dalla lente paralleli (§. 982), tali cioè da essere convenevolmente concentrati dalle parti dell'occhio per dipingere sulla retina l' immagine dell' oggetto da cui derivano. E non potendo l'occhio sano veder chiaro e distinto un' oggetto se non è questo alla distanza di otto pollici; l'occhio per guardare l' oggetto attraverso della lente ne trasporta l' immagine alla distanza di otto pollici. L'occhio infatti reca l' immagine dell' oggetto AB in $A'B'$, perchè l' angolo ottico $A'O B'$ sotto di cui è veduta la immagine dall'occhio situato presso la lente, diviene qual sarebbe $A O B$, sotto di cui si vedrebbe l' oggetto senza della lente se potesse distintamente vedersi alla distanza $A O B$. Or crescendo quest'angolo in ragione inversa della distanza dell'oggetto dalla lente (§. 1112) se questa distanza, ossia la distanza focale è di un pollice, l'angolo starà a quello sotto di cui si sarebbe ve-

cei di Roma, come rammenta ODESCALCHI nelle *Mem. dell' Accad. de' Lincei*, p. 301.

duto l'oggetto ad occhio nudo :: 8 : 4. Essendo quindi le grandezze apparenti proporzionali agli angoli ottici, si vedrà il diametro dell'oggetto 8 volte maggiore, 64 volte tale la superficie, e 512 il volume. Esprimendosi però ordinariamente l'ingrandimento del microscopio per mezzo del cubo, ossia del corpo, e non del diametro, si cade in una specie di esagerazione.

4129. Dal fin quì detto chiaramente risulta che quanto è più corta la distanza focale della lente, tanto più l'oggetto s'ingrandisce; ma la distanza focale diminuisce col raggio di curvatura (§. 983); se dunque la lente è sferica e si rende piccolissima, sarà grandissimo l'ingrandimento dell'oggetto. Su questo principio il nostro P. DELLA TORRE, formate delle piccole palline di cristallo, le impiegò nei microscopii invece di lenti. Distando il foco della sfera della quarta parte del suo diametro, ed essendo le palline piccolissime, la distanza focale è corta al punto che giungono talune di esse ad ingrandire più di mille volte il diametro dell'oggetto.

4130. Si possono esaminare col microscopio gli oggetti trasparenti e gli opachi. Si situano i primi tra due sottili pezzetti di talco ben chiaro ne' fori di una stacca di avorio GI (Tav. 15 fig. 11), oppure fra due lamine sottili di vetro ben terso. Si sottopone questa alla lente microscopica C fissata in un'incassatura circolare della verga orizzontale CH, poggiandola sulla porta oggetti D, che può sollevarsi e deprimersi lungo l'asta verticale AB per mezzo della vite E, onde porre l'oggetto esattamente nel foco della lente; ed a bene illuminarlo vi si getta sopra la luce riflessa dallo specchio concavo F inferiormente collocato. S'illumina l'og-

getto opaco colla luce riconcentrata da una lente convessa superiore e laterale, o colla stessa incassatura della lente inferiormente conformata a specchio concavo, il di cui foco cada sull' oggetto. Gli oggetti opachi inoltre anzichè ne' detti fori fra il talco si collocano su di un piano tenendovisi scoperti.

MICROSCOPIO COMPOSTO.

1131. Per dare alle piccole lenti microscopiche un sufficiente *campo*, per vedere cioè con esse una sufficiente estensione dell' oggetto che si guarda, bisogna portar l' occhio alla massima vicinanza presso di essa. Ad evitare questo incommodo si è cercato di ottenere l' intento con una combinazione di lenti, costruendosi con due o più di queste il *Microscopio composto*, il quale non è che il semplice ripetuto. Posto infatti l' oggetto AB (Tav. 15 fig. 12) un poco al di là del foco principale della lente CD, detta *obiettiva*, per essere dalla parte dell' oggetto, i raggi, che da esso scagliati si rifrangono, si riuniscono in *ab*, ove ne dipingono l' immagine rovesciata, e molto maggiore dell' oggetto, essendo questo al di là della lunghezza focale dell' obiettiva (§. 990). Nel luogo di questa immagine, od un poco al di là, cade il foco principale di una seconda lente più grande ed anche biconvessa EF detta *oculare*, per essere dalla parte dell' occhio. I raggi tramandati dall' immagine *ab* rifrangendosi nell' attraversare l' oculare penetrano paralleli o poco divergenti nell' occhio sopraincumbente, a cui, guardando l' immagine *ab* sotto l' angolo ottico EOF, sembrar deve il diametro *ab*

eguale a GH. Differisce quindi il microscopio composto dal semplice in ciò, che mentre si vede con questo immediatamente l'immagine dell'oggetto, sene osserva con quello l'immagine dell'immagine. Aumentansi quindi di molto le dimensioni dell'oggetto, essendo la sua immagine assai più grande di esso. Una terza lente, che avesse il foco principale ove si è supposto l'occhio, ingrandirebbe molto dippiù l'immagine dell'oggetto. Intanto il microscopio composto non solo ingrandisce al pari e più del semplice l'oggetto, ma dà mezzo d'illuminare gli oggetti ad arbitrio e di aumentare il campo. Quanto più le lenti sono grandi, tanto più raggi ricevono; e d'altronde per la loro forza rifrangente i raggi, che cadendo molto obbliquamente si disperderebbero senza entrare nell'occhio, si riuniscono cogli altri ed accrescono il numero dei punti visibili e la quantità della luce che mandano all'occhio, cioè il campo del microscopio, e la chiarezza dell'oggetto.

1432. Essendo il microscopio composto un doppio microscopio semplice, per conoscerne l'ingrandimento non si deve che moltiplicare il potere d'ingrandire dell'obiettivo per quello dell'oculare secondo le regole del microscopio semplice (§. 1428). Così se il foco di CD (Tav. 15 fig. 12) è di 4 linee, il diametro dell'oggetto dell'immagine *ab* sarà ingrandito nel rapporto di 8 pollici ossia di linee 96 a 4, cioè 24 volte, e la superficie 576. Supponendo poi la distanza focale della seconda lente EF eguale ad un pollice, il diametro dell'immagine sarà ingrandito 8 volte e 64 la superficie. L'ingrandimento totale del diametro dell'oggetto sarà dunque $24 \times 8 = 192$, e quello della superficie $576 \times 64 = 36864$.

1133. La costruzione del microscopio composto poco differisce da quella del semplice. Nella estremità superiore del tubo AB (Tav. 15 fig. 13), che può allungarsi ed accorciarsi secondo il bisogno, è posta l'oculare, e nell' inferiore l' obbieltiva in un' incassatura conformata al di sotto in specchio concavo ben lucido. Si abbassa o si alza il tubo colla vite E per accostare od allontanare l' obbieltiva dall' oggetto posto sulla stecca CD; il quale se è diafano s' illumina collo specchio inferiore F; e se è opaco, collo specchio e colla lente biconvessa laterale G, e coll' incassatura speculare dell' obbieltiva.

1134. Oltre del descritto microscopio di comune costruzione, ve ne sono de' più perfetti. Quello immaginato da GORING in Inghilterra, e gli altri inventati in Francia da SELLIQUEC e da CHEVALIER, sono di molto inferiori a quello costruito dall' illustre Professore Cav. G. AMICI, naturalmente disposto al perfezionamento di qualunque apparato ottico che degno crede delle sue cure. L' oggettivo di questo microscopio (Tav. 15 fig. 14) è in A, e l' oculare è in O. Il fascio luminoso, che rende visibile l' oggetto, s' alza verticalmente, ma riflettuto sulla faccia maggiore di un prisma isoscele rettangolare di vetro ch' è in B, è mandato orizzontalmente verso l' oculare, e permette all' osservatore di variare e prolungare a suo agio gli esperimenti e disegnare le immagini che vede. Costa l' oggettivo di più lenti acromatiche (§. 1027) di varie distanze focali, montate in altrettante ghiera di ottone, che si possono impiegare isolatamente o riunite a tre. Risulta da questa combinazione il potere d' ingrandimento tanto maggiore quanto lo è il numero degli oggettivi impiegati. I corpi da

osservarsi, se trasparente, si situano su di una lamina di vetro posta sul porta-oggetto C fermato da una molletta. S'illuminano essi collo specchio D, di cui si modera lo splendore col diaframma E posto sotto l'oggetto; il quale colle varie aperture praticate su di un piano circolare di ottone girevole, intercetta più o men di luce secondo il bisogno. Si osservano i corpi opachi ponendoli sul porta-oggetti C sopra di un disco situato in mezzo ad una lastra di vetro trasparente, e s'illuminano superiormente con uno specchio concavo di metallo forato nel centro ed avvitato sotto l'obiettivo, che riflette sull'oggetto la luce che gli perviene dallo specchio D passando intorno al disco nero. I corpi di maggior mole occupando tutta l'ampiezza del porta oggetti non possono illuminarsi che colla luce riconcentrata dalla lente convessa F. Essendo difficile il dirigere a mano un oggetto di gran volume per presentarne successivamente le parti nel campo visivo, le due viti G ed H comunicano al porta oggetti un lento movimento rettangolare e può lo stesso montare o discendere per recare nel foco dell'oculare l'immagine prodotta dagli obiettivi a fin di rendere distinta la visione.

MICROSCOPIO SOLARE.

1135. Col *Microscopio solare* inventato nel 1745 da LIEBER KUNN, Accademico di Berlino, non si possono osservare che gli oggetti diafani. I raggi solari riflessi da uno specchio piano AB (Tav. 15 fig. 15) situato fuori la finestra di una camera oscura penetrano paralleli in un tubo, detto *porta-luce*, che contiene due lenti con-

Fis. Vol. II.

vergenti , una grande CD e l' altra piccola EF , onde i raggi raccolti dalla prima cadono sulla seconda. Pria però d' incrociarsi in questa s'introduce per una apertura del tubo una laminetta di vetro detta *porta-oggetti* , posandovisi a rovescio un capello, una pulce , od altro insetto a . Reso così l' oggetto luminoso scaglia da ogni punto dei fascetti di raggi che ne portan seco l' immagine. Questi lucidi pennelli dopo d' essersi frastagliati nel centro della lente EF procedono divergenti , e dipingono su di un muro od altro piano verticale l' immagine IK , dritta per l' incrocamento de' raggi ed ingrandita dalla loro divergenza tanto dippiù per quanto la distanza del piano dalla lente è maggiore. L' effetto di questo microscopio è molto sorprendente. Una pulce vi comparisce un montone , ed un capello una grossa trave. Serbano le immagini le tinte degli oggetti ; e si osservano degl' insetti le parti distinte, e sino il corso de' liquidi nei loro piccoli vasi. Vanno però dipinte tali immagini ad una media distanza, quando si vogliono più chiare e precise.

LANTERNA MAGICA.

1136. La *Lanterna magica*, la di cui invenzione è del P. KIACHEN , Gesuita Tedesco, non differisce dal microscopio solare se non in ciò , che alla luce solare si sostituisce quella di una lampada. Costa d' essa di una cassa di legno o di lamine di ferro (Tav. 15 fig. 16), an di cui lato si apre a cerniera per collocarvi convenientemente la lampada G . Vi è nel fondo laterale uno specchio concavo EF , e sulla faccia della cassa ad esso

opposta è adattato un tubo ACBD, che porta le lenti convesse AB, CD; ed una cavità atta al passaggio delle lamine di vetro, su cui sono dipinti con colori trasparenti ed a rovescio gli oggetti *ab*. La luce quindi irraggiata da G si raccoglie dallo specchio EF, e da questo si riflette sul dipinto *ab*, che essendone fortemente illuminato fa le veci di corpo irraggiante. Ed i raggi di ogni fascio, che parte da ciascun punto dell'oggetto *ab*, attraversando la lente AB da divergenti si rendono paralleli, come scambievolmente converge ogni fascio. Dopo d'essersi questi incrociati cadono sulla lente CD, che mentre diminuisce un poco la divergenza de' fasci luminosi dopo l'incrociamiento rende convergenti i raggi di ogni fascio, i quali nel loro punto di concorso dipingono dritta e più grande l'immagine IK su di un muro o su di un piano qualunque bianco.

FANTASMAGORIA.

1137. La lanterna magica modificata nella costruzione ed azione si trasforma in un istrumento capace di produrre un effetto ben più imponente, detto *Fantasmagoria*. Occultandosi agli spettatori il meccanismo dell'operazione, non hanno essi altro davanti che una tela di musollino gommoso, verticalmente tesa, in cui si veggono le immagini per trasparenza. La stanza degli osservatori è perfettamente buia. Appena comincia l'operazione si vede comparire uno spettro d'apprima piccolissimo, ma che poi gradatamente si ingrandisce sino ad avanzarsi a gran passi verso gli astan-

ti; e quando è preceduta questa scena da un tetro silenzio, non interrotto che da qualche lugubre suono, l'immaginazione si altera, e non sembrando vedere che dei fantasmi, difficilmente può garantirci dall'impressione dello spavento a vista di un oggetto capace per se stesso di fare illusione.

4138. L'apparato con cui si produce questo effetto non è che una specie di lanterna magica (Tav. 16 fig. 2). La lampada A produce la luce, che riflessa dallo specchio concavo BC è poi ricentrata dalle due lenti D ed E, onde l'oggetto sito in F n'è vivamente illuminato; ed i raggi che da questo partono, riuniti dalla lente G di corto foco ne dipingono l'immagine KI sull'opposto piano trasparente. È facile quindi comprenderne l'artifizio. Accostandosi dapprima colle carrucole l'apparecchio alla tela, vi si dipinge l'immagine molto piccola, perchè piccola è la distanza da cui partono le lucide e divergenti piramidi GK, GI. Volendosi poi ingrandire l'immagine si allontana dalla tela l'apparato. Tutto l'artifizio dunque consiste nell'allontanare e nell'avvicinare l'apparato al piano, onde l'immagine in questo dipinta ora grande rendesi ed ora piccola, in ragione cioè della distanza della tela dalla lente G. Perchè l'immagine risulti molto chiara e ne' contorni precisa, devesi portare ad un tempo in avanti o indietro la lente mobile G, affinchè i fochi de' raggi cadano sulla tela. A far seguire questi cangiamenti senza che cessi l'immagine di esser visibile e distinta per gli spettatori, si combina un meccanismo ben semplice che li rende ad un tempo soddisfatti senza rumore, con precisione, e ne' dovuti rapporti. Gli osservatori intanto,

che per l'oscurità non veggono l'artificio dell'operatore, non avvertendo che il luogo dell'immagine non cambia riguardo ad essi, si lasciano illudere sino a credere che l'immagine s'accosta ad essi perchè sogliono veder piccoli gli oggetti quando sono lontani e più grandi a misura che si avvicinano; e questa illusione è tanto più forte quanto più lo spettro, che da principio non era che un punto, giunge rapidamente ad una grandezza molto notevole, e quanto più l'immaginazione riguarda questo aumento come l'effetto di un moto progressivo, con cui si accosta un oggetto che non ha guari vedevasi lontanissimo.

CAMERA OTTICA.

1139. Non meno dilettevole pe' curiosi che utile pel disegno è la così detta *Camera ottica*. Costa essa di una cassa di legno AB (Tav. 15 fig. 17) conformata a piramide troncata, nella di cui sommità s'incasta il tubo DE, che porta la lente convessa C, il di cui foco è nel fondo BG coperto di carta bianca. È sul tubo lo specchio piano EF inclinato di 45° in modo che rifletta sulla lente C i raggi che partono dagli oggetti esterni, onde i raggi riflessi dallo specchio e poi dalla lente rifratti descrivono in piccolo sulla carta le immagini degli oggetti. E concentrandosi più lontani dalla lente i raggi degli oggetti più vicini, mentre quelli dei più lontani producono il loro foco a minor distanza, per essere i raggi dei primi più divergenti di quei dei secondi; si abbassa o s'innalza il tubo DE per allontanare od avvicinare convenevolmente al fondo BG la

lente C, secondocchè vi si vuol far dipingere le immagini di oggetti vicini o lontani. Tutto l'interno della macchina è dipinto in nero ed è privo affatto di luce per veder chiara e netta l'immagine che vi si descrive, e nella parte anteriore vi è una tendina che si solleva per introdurvi la testa di chi vuol vedere l'immagine degli oggetti esterni, che vi si dipingono ben contornati e con tutti i loro colori naturali. Si impiega da taluni questa macchina per disegnare la veduta di un giardino, di un paesaggio e simili, rappresentandosi per essa in piccolo colle rispettive proporzioni e colle proprie tinte tutti gli svariati oggetti che compongono la veduta da dipingersi (1).

CAMERA OSCURA.

1140. La così detta *Camera oscura* inventata dal celebre filosofo GIAMBATTISTA DELLA PORTA reca gli stessi vantaggi della precedente macchina. Consiste essa in una cassetta rettangolare di legno ABCD (Tav. 45 fig.

(1) Si è modificata questa macchina mediante un prisma triangolare di cui una faccia convessa fa le veci della lente oggettiva, ed un'altra piana rimpiazza lo specchio, e s'inclina sulla terza concava per 45.° Disposto questo prisma in una camera ottica, i raggi luminosi emessi dall'oggetto che si guarda si ricevono dalla faccia convessa, e da questa concentrati cadono sulla piana, da cui riflessi sono proiettati sul piano; attraversando però la faccia concava, ne sono vieppiù riconcentrati, e risulta l'immagine nel contorno chiara e precisa. Allontanando poi il prisma dal piano di proiezione od accostandovelo, si può guardare colla stessa precisione un oggetto situato a varie distanze.

18), il cui coperechio si può aprire per metà, alzandone la parte EF intorno la cerniera E; e la di cui apertura AE ha fissa una lamina di vetro smerigliato. Nel mezzo del lato anteriore è un foro circolare, nel quale scorre il tubo DGHC, che porta la lente convessa GH. Ricevendo questa i raggi dagli oggetti di rincontro, li tramanda incrociati e poi uniti sulla superficie dello specchio piano AI inclinato di $45.^{\circ}$. Rimbalzati da questo verticalmente dipingono sul vetro spolito in piccolo, con ogni precisione, e colle rispettive proporzioni e tinte le immagini degli oggetti da cui derivano. Perchè queste risultino chiare, debbonsi riunire i raggi precisamente sullo specchio AI, ed il tubo è scorrevole per tirare in avanti o spingere indietro la lente GH, secondocchè vuolsi vedere oggetti vicini o lontani. Stendendosi sul vetro spolito AE un foglio di carta lucida, la copia degli oggetti guardati riesce più facile e fedele. Una tela che lasciando scoperto il lato DC cuopra tutto l'apparato e l'osservatore, mentre aumenta la vivacità delle immagini coll'allontanare ogni luce straniera, più facile ne rende l'esatta copia.

CAMERA LUCIDA.

1141. Devesi al Dottor WOLLASTON l'ingegnoso apparato detto *Camera lucida*. Non è desso che un prisma quadrangolare $a b c d$ (Tav. 16 fig. 1), di cui l'angolo b è retto, l'angolo d ottuso di $135.^{\circ}$. È rivolta la faccia bc verso l'oggetto C, che si vuole disegnare, onde i raggi che da esso partono, dopo di esser penetrati per-

pendicolarmente nell'interno del prisma pel lato bc , soffrono la prima riflessione totale sul lato rd , e la seconda su di da , e n'escono poi normali alla faccia ab presso l'estremo a del prisma. Or se l'osservatore adatta l'occhio in O in modo che i raggi così riflessi non occupino che la metà della pupilla, e l'altra metà, gettata un poco al di fuori dell'angolo solido a del prisma, riceva i raggi direttamente provenienti dal cartone AB messo al di sotto; vedrà ad un tempo collo stesso occhio l'immagine ed il cartone su cui sembra questa formarsi, essendo noi usi a riferire le immagini degli oggetti al prolungamento de' raggi incidenti. Cercando quindi egli di segnarne il contorno col lapis sottilmente temprato, vedrà nel tempo stesso la punta di esso e l'immagine in modo da poterla facilmente descrivere. Può anche l'osservatore impiegare all'uopo un vetro convergente messo innanzi al prisma, se la sua vista ha bisogno di questo soccorso (1).

TELESCOPIO ASTRONOMICO.

1142. Per quanto gli strumenti sinora descritti giovano all'esame degli oggetti vicini all'osservatore, altrettanto sono inutili per quello degli oggetti lontani. Es-

(1) Al pari di altri strumenti ottici deve questo la sua perfezione al meritissimo Professore Cav. AMICI, che ne ha progettate varie modificazioni, di cui i limiti di una istituzione non permette occuparci, ma che possono leggersi nella sua interessante memoria inserita negli *Ann. de Chim. et de Phys.* tom 22. La Camera lucida di ALEXANDER non è meno pregevole delle precedenti.

sendosi quindi occupati i Fisici della costruzione di macchine atte ad osservare questa specie di oggetti, sono state coronate le loro cure dal più felice successo. Quelle a tal uopo formate diconsi *Telescopii* (1), e più comunemente *Cannocchiali*.

1143. Il cannocchiale diottrico che merita di essere esposto in preferenza è composto di una lente oggettiva CD convessa (Tav. 16 fig. 3), combinata coll' oculare EF anche convessa, benchè di minor diametro. Essendo più atto degli altri alle osservazioni astronomiche, è chiamato *Telescopio astronomico*. Gli assi delle due lenti debbono essere nella stessa retta e paralleli all'estremità di un tubo annerito al di dentro, e quindi incapace di ogni riflessione che altererebbe la chiarezza dell'ima-

(2) Questo nome derivante da *Τηλε* *procul* e *Σκοπεω* *speculor*, fu imposto dal Principe FEDERICO CESI e dagli altri Accademici Lincei (*Memorie dell'Accademia de' Lincei* raccolte dal Duca D. BALDASSARRE ODESCHALCHI, p. 301). Il primo inventore però del telescopio fu il nostro GIAMBATTISTA DELLA PORTA, parlando egli nella sua *Magia naturale* (lib. 17 cap. 10 ediz. del 1394) di alcuni suoi strumenti, i quali alla giusta combinazione di una lente concava e di un'altra convessa facevano vedere gli oggetti lontani come se fossero molto vicini. Quindici anni dopo, ossia nel 1609 GIOVANNI LIPPERSHEIM e ZACCARIA HANSEN, artefici di Midelburgo nella Zelanda, e dopo di essi GIACOMO MEZIO di Alcmæer in Olanda fecero anche allo stesso modo de' cannocchiali, non più lunghi di un piede e mezzo, per effetto pinto sto di una casuale combinazione, che per applicazione di principii scientifici, ignorando essi affatto quei della luce. Giunta appena in Italia la notizia di questi telescopii olandesi, l'insigne GALILEO GALILEI ne costruì de' simili, che poi migliorò, per arricchire l'astronomia di nuove ed interessanti scoperte.

gine (proprietà comune a tutti i telescopii). Dev'essere l'oggettiva tanto lontana dall'oculare, da coincidere il fuoco C della prima lente con quello della seconda; onde la lunghezza del cannocchiale eguaglia la lunghezza focale delle lenti. Concentrandosi poi i raggi e producendo il loro foco ad una distanza tanto maggiore dalla lente di quanto sono più divergenti (§. 983), ed i raggi che provengono dagli oggetti vicini divergendo più di quei che derivano dai lontani (§. 905); perciò variar deve la distanza delle lenti al pari di quella degli oggetti da osservarsi; cioè deve diminuirsi la lunghezza del cannocchiale per gli oggetti lontani ed aumentarsi per i vicini. Costa quindi il tubo dello strumento di due o più pezzi, scorrevole l' uno nell' altro per variarne la lunghezza secondo il bisogno. I fascetti de' raggi lucidi, che partendo da tutti i punti dell' oggetto remoto AB si refrangono nell' oggettiva CD , ne dipingono l'immagine impiccolita in ab , cioè nel foco principale c dell' oculare. È questa immagine rovesciata, perchè gli assi de' lucidi pennelli attraversando l' oggettiva CD s'incrociano nel suo centro. Progredendo i raggi dopo di essersi riuniti ed intersecati nel foco c , così l'immagine ab tramanda al pari di un oggetto da tutti i suoi punti de' fascetti conici di raggi, che attraversando l' oculare EF divengono paralleli (§. 981), convergendo in O . Quivi dunque vede l'occhio sotto l'angolo ottico KOI , assai grande, l'immagine ab ingrandita di molto, e rovesciata, perchè frastagliandosi i raggi attraverso l'oggettiva, dipingono dritta l'immagine sulla retina mentre dovrebb' essere capovolta (§. 1108).

TELESCOPIO GALILEANO.

1144. Se questo rovesciamento dell' immagine è indifferente nell'osservazione de' corpi celesti, perchè sferici, è di molto incomodo in quella de' terrestri. Per ovviare a questo inconveniente compose GALILEO il suo telescopio di una lente oggettiva CD (Tav. 16 fig. 4) convergente, e di una oculare EF divergente. Supposto infatti che l'oggetto AB assai lontano tramandi da ogni suo punto de' lucidi pennelli sulla lente CD, si rendono i suoi raggi dopo la refrazione convergenti (§. 983). Onde il pennello che parte da A si concentrerebbe in *a*, e quello che si muove da B in *b*. Incontrando però questi raggi la lente biconcava EF passano dalla convergenza al parallelismo (§. 992); prendendo cioè la via di G e di H, penetrano nell' occhio dell' osservatore, e refratti nuovamente dagli umori di questo dipingono l'immagine nel fondo della retina. Benchè però i raggi di ogni pennello sian paralleli, pure uscendo i pennelli dalla lente divergono per la gran forza refrattiva di questa; onde avvicinar devesi al più possibile l'occhio all'oculare perchè i pennelli divergenti incontrar lo possano e penetrarvi. Apparisce l'immagine ingrandita, perchè presentata all'occhio sotto l'angolo GcH, molto maggiore dell'angolo bIa, e quindi del suo verticale AIB, sotto di cui si vedrebbe l'oggetto ad occhio nudo. Apparisce del pari ben chiara e distinta, riunendo la lente CD, ed atti rendendo a passare per la pupilla tutti i raggi che la naturale loro divergenza inefficaci renderebbe per l'occhio. Comparisce dritto in fine l'oggetto

perchè non frastagliandosi i pennelli luminosi nell'occhio per la notevole loro divergenza, ma solo nel centro I dell'oggettiva, dipingono nella retina l'immagine rovesciata come si richiede per vedersi dritto l'oggetto (§. 1108).

1145. Sono così costruiti gli *occhialini* da tasca e quelli da teatro, comunemente detti *spioncini*. Hanno questi ultimi però l'oggettiva ben grande per ricevere un sufficiente numero di raggi, poichè destinati a guardare oggetti illuminati con luce artificiale, la di cui efficacia non è paragonabile con quella del sole, non potrebbero essi altrimenti vedere con distinzione. Sogliono anch'essi costruire *binocoli*, composti cioè di due piccioli cannocchiali simili montati insieme in modo da serbare tra essi la distanza delle due pupille; onde guardandosi con ambi gli occhi si aumenta il campo visivo, e compariscono più chiari gli oggetti.

1146. Evidente è dunque la differenza del cannocchiale astronomico da quello di GALILEO. Benchè formati entrambi di due lenti, differiscono pur nondimeno nella lunghezza. Eguaglia quella del primo la somma e quella del secondo la differenza delle due distanze focali dell'oggettiva e dell'oculare. Inoltre nel cannocchiale astronomico dipende la grandezza del campo da quella dell'oculare, mentre nel Galileano è desso determinato dalla larghezza della pupilla; poichè i pennelli luminosi partendo divergenti dall'oculare concava passano per gli orli della pupilla; mentre nel cannocchiale astronomico partono convergenti i pennelli dagli orli dell'oculare per indi incrociarsi nella pupilla. Il telescopio dunque di GALILEO avendo un minor campo

è di un uso men comodo. Non può avere poi questo cannocchiale che un limitato ingrandimento. Non potendosi questo effetto produrre senza aumentare l'angolo ottico GcH (Tav. 16 fig. 4), quest' aumentata divergenza de' raggi trasmessi dall' oculare mentre aumenta l'apparente grandezza dell' oggetto diminuisce corrispondentemente il campo, scemandosi il numero de' raggi che possono penetrare nell' occhio. Nel telescopio Galileano dunque crescendo l' ingrandimento menomasi il campo: difetto notabilissimo, che ne ha fatto quasi generalmente abbandonare l' uso meno che pel teatro, per l' unico riflesso di esser desso molto corto.

TELESCOPIO TERRESTRE.

1147. Non potendo il telescopio Galileano che rappresentare all' occhio dritte le immagini degli oggetti che con esso guardansi, vantaggio incalcolabile in paragone de' suoi notabili difetti; si ha quindi dovuto inventare il così detto *Telescopio terrestre*, ridurre cioè il telescopio astronomico a mostrare gli oggetti in situazione dritta, aggiungendovi due altre lenti, dette *oculari*, perchè simili a quella ch' è vicina all' occhio. Le quattro lenti convesse CD, EF, GH, IK (Tav. 16 fig. 5) hanno l' asse comune, ed il foco di ognuna coincide da ambe le parti col foco di quelle tra cui si trova. Le lunghezze focali delle tre ultime sono ordinariamente eguali, molto più grande è quella della prima CD . Or i raggi scagliati da' varii punti dell' oggetto AB per la refrazione attraverso l' oggettiva CD , si riuniscono incrociandosi in ab , e vi dipingono l' immagine rovesciata.

Poichè il foco principale dell' oculare EF cade in ab , i raggi che partendo divergenti dall' immagine l' attraversano , si rendono paralleli; ed incontrando in seguito l' altra oculare GH convergono e dipingono per essersi incrociati in L l' immagine $a'b'$ in situazione opposta ad ab , e quindi dritta. Da questa immagine partono sull' ultima oculare IK divergenti i raggi che nell' attraversarla si rendono paralleli e concorrenti verso il centro O della pupilla; ove incrociandosi e refratti dalle varie parti dell' occhio dipingono nel fondo di questo l' immagine rovesciata, come dev' essere per vedersi dritta (§. 1106).

1148. È notabile questo telescopio tra l' altro per la sua forza *amplificativa* , per la potenza cioè di mostrar ingrandito il diametro apparente degli oggetti. Si valuta essa nel seguente modo. Dipendendo l' ingrandimento dall' angolo ottico, con cui si vede in O (Tav. 16 fig. 3) ed in O (Tav. 16 fig. 5) l' immagine ab , quanto più questo si aumenta riguardo a quello , sotto di cui si vede l' oggetto ad occhio nudo , tanto più l' additata forza cresce; ond' essa dipende dal rapporto dei due angoli. Or situato l' occhio nel centro della lente oggettiva vedrebbe l' oggetto AB (Tav. 16 fig. 3) e la sua immagine ab di eguale grandezza; poichè frastagliandosi i lucidi pennelli nel centro di siffatta lente, vedrebbe l' occhio sotto un eguale angolo l' oggetto AB fuori del telescopio e l' immagine ab che dentro si dipinge. All' angolo quindi, sotto cui si vede l' oggetto ad occhio nudo , può sostituirsi quello formato dai lucidi pennelli che s' incrociano nel centro dell' oggettiva. Ed all' angolo ottico O si può parimente sostituire

quello formato nel centro dell' oculare dagli assi dei pennelli luminosi, che partono dalle estremità dell' immagine ab ; perchè guardando l' occhio per mezzo del telescopio si colloca vicinissimo all' oculare. I due angoli dunque paragonabili sono, quello formato nel centro dell' oggettiva, e l' altro fatto nel centro dell' oculare, guardandosi sotto entrambi la stessa immagine ab , che comparisce eguale all' oggetto veduto ad occhio nudo col primo, ed ingrandita col secondo. Ed essendo gli angoli ottici in ragione inversa delle distanze (§. 905), i due angoli succennati sono nell' inversa ragione delle distanze focali delle due lenti (§. 983). Chiamandosi quindi F la distanza focale dell' oggettiva, ed f quella dell' oculare; ed egnagliandosi ad 1 la grandezza apparente dell' oggetto veduto ad occhio nudo, sarà $f: F :: 1: x$, e quindi la forza d' ingrandimento

$$= \frac{F}{f}, \text{ valutata cioè pel rapporto delle due distanze focali esprimente quello dei due angoli ottici. Supponendo dunque avere un cannocchiale l' oggettiva di 15 piedi } = 180 \text{ pollici di foco, e l' oculare di un pollice; ingrandirà il diametro dell' oggetto 180 volte, perchè } \\ \frac{180}{1} = 180. \text{ Crescendo per conseguenza } F \text{ e decre-}$$

scendo f , tanto più cresce la forza d' ingrandimento, onde si costruiscono le oculari di corto foco.

1149. Si estima nello stesso modo la forza d' ingrandimento del cannocchiale terrestre, benchè composto di più lenti, cioè non si tiene alcun conto delle due intermedie oculari EF , GH (Tav. 16 fig. 5), non al-

terando queste in alcun modo l'angolo ottico, talchè $ELF=IOK$, e non essendo destinate che a raddrizzare l'immagine ed aumentare il campo. Nel telescopio galileiano egualmente l'apparente grandezza dell'oggetto con esso osservato è rispetto a quella che si sarebbe veduta ad occhio nudo nel rapporto dell'angolo GcH all'altro bIa (Tav. 16 fig. 4), e quindi nella ragione della lunghezza focale dell'oggettiva a quella dell'oculare. Qualunque sia dunque la specie del telescopio diottrico, sia esso astronomico, galileiano, o terrestre, si valuta sempre la sua forza d'ingrandimento con $\frac{F}{f}$.

1150. Per la bontà di un cannocchiale non basta che di molto sia la sua forza d'ingrandimento; ma fa d'uopo ancora che apparisca l'oggetto ben distinto e nelle sue parti preciso: onde ogni punto della immagine descritta per mezzo dell'oggettiva nel telescopio dev'essere così terminato e distinto com'è ogni punto dell'oggetto. Questa condizione però non è esattamente realizzabile per due ragioni. 1.° Essendo sferica l'oggettiva, produce l'*aberrazione di sfericità* (§. 985), per cui i soli raggi vicinissimi all'asse sensibilmente concorrono in un punto comune, poichè i più lontani essendo più refratti degli altri li tagliano al di quà del punto istesso. L'immagine principale quindi, o quella prodotta nel punto in cui si riunisce il maggior numero di raggi, è come offuscata da molte altre immagini che confusa rendono la visione. 2.° Quello che molto più della precedente cagione turba la nettezza delle immagini è la dispersione de' colori della luce. Passando

questa per l'oggettiva si decompone ne' sette colori prismatici, onde una serie si forma di sette diversi fochi corrispondenti ai sette diversi colori. Più dappresso si uniscono i raggi violetti, e più lungi i rossi, e tra i fochi degli uni e degli altri vanno gli intermedi secondo il loro ordine a collocarsi (§. 1024). Ne risultano quindi molte immagini sovrapposte e variamente colorate, che confusa rendono ed indeterminata la visione, offendendo l'occhio. E ripetendosi questo effetto dalla diversa refrangibilità de' raggi componenti la luce bianca, chiamasi *abberrazione di refrangibilità*. Si rendono questi due difetti più sensibili e dannosi quando per aumentare la chiarezza del telescopio o la quantità di luce da penetrarvi, grande apertura dassi all'oggettiva; o quando si rende questa lente molto curva a fin di darle corto foco (§. 983) per non costruire troppo lungo l'istrumento e quindi incomodo e disadatto.

4151. Si corregge l'abberrazione di sfericità in due modi; od apponendo dietro l'oggettiva un anello opaco e nero, detto *diaframma*, o componendola di due lenti, convessa l'una, concava l'altra. Nel primo caso non passano a causa del diaframma che i raggi cadenti nel mezzo della lente intercettando esso quelli che attraversano gli orli; ma ciocchè si guadagna in nettezza si perde in chiarezza, perchè restringendosi l'apertura del cannocchiale si diminuisce la quantità di luce che descrive l'immagine e chiara la rende. Nel secondo caso per la lente concava i fochi dei raggi che passano per gli orli, vieppiù dispergendosi si sovrappongono a quelli dei raggi che passano pel mezzo (cosa invero difficile a realizzarsi esattamente). Per correggere l'abberrazione

di refrangibilità si sono inventati i *telescopii acromatici*, cioè si è costruita l'oggettiva acromatica, componendola di una lente biconvessa di crown glass esattamente incastrata in un'altra biconcava di flint-glass, od interponendovi la lente biconcava di flint a due biconvesse di crown (§. 1027); per cui coincidendo sensibilmente nello stesso punto i fuochi de' varii raggi prismatici, si forma una sola immagine e priva d'iride. Corretti i due errori di sfericità e rifrangibilità col oggettiva acromatica, non solo si dipinge l'immagine nettissima, ma si può dare anche al telescopio una grande apertura e chiarezza, ed una forza d'ingrandimento maggiore di quella che può darsi ai telescopii non acromatici.

TELESCOPIO NEWTONIANO.

1152. Pria di provarsi possibile da DOLLOND la costruzione delle lenti acromatiche, conoscendo NEWTON quanto l'abberrazione di refrangibilità si opponeva alla perfezione de' telescopii diottrici, e disperando della costruzione di uno di questi di mediocre lunghezza, che presentasse le immagini con sufficiente chiarezza, si contentò d'impiegare in preferenza i *telescopii catadiottrici*, costruiti sin dal 1616 dal Gesuita Parmigiano NICOLA ZUCCHI (1). Egli intanto costruì nel 1668 un nuovo telescopio, componendolo di uno specchio concavo CD (Tav. 16 fig. 6) posto nel fondo EF di un tubo in modo da coincidere l'asse di questo con quello dello specchio: di un piccolo specchio piano I posto prima

(1) *Optica philos.* Lugduni 1652, pag. 1. cap. 14. sect. 5.

di *ab*, foco dello specchio concavo, ed inclinato sull'asse per un angolo di 45° ; e di un'oculare GH messa di fianco. Partendo i raggi dall'oggetto lontano AB entrano in questo strumento paralleli, e si riflettono convergenti dallo specchio concavo CD; e prima di riunirsi in *ab* si riflettono di nuovo dal piccolo specchio I, e rinnendosi in *cd* vi dipingono l'immagine dell'oggetto AB. Cadendo in *cd* il foco principale dell'oculare GH, l'immagine dipintavi si guarda ingrandita dall'occhio situato in O. Si calcola la forza d'ingrandimento di questo telescopio come quella de' telescopii diottrici, dividendo cioè la lunghezza focale dello specchio concavo, che funziona da oggettiva, per quella dell'oculare, essendo nella ragione inversa delle distanze focali i due angoli ottici, uno al centro dello specchio concavo sotto cui si vedrebbe l'oggetto ad occhio nudo, e l'altro nel centro dell'oculare sotto cui si vede l'immagine.

TELESCOPIO GREGORIANO.

1153. Riuscendo affatto incomodo il descritto telescopio nell'osservare l'oggetto coll'occhio situato di fianco, pensò GIACOMO GREGORY sin dal 1663 alla costruzione di un altro strumento composto di due specchi concavi, uno grande CD (Tav. 16 fig. 7) forato nel mezzo, e l'altro piccolo posto in E di rincontro al forame del primo, in modo però da confondersi gli assi de' due specchi tra essi e con quello del tubo, e da distare l'uno dall'altro specchio poco più della somma delle loro distanze focali. È sposto in fondo del tubo a n'altro tubo minore anche metallico, di diametro egua-

le a quello del foro dello specchio CD, per portarvi le due lenti di corto foco EF, III. È sostenuto il piccolo specchio E da un sottile gambo metallico corrispondente colla vite KL a fine di portarsi alla precisa distanza necessaria per veder chiari e distinti gli oggetti messi a varie distanze. Or ben s'intende che i raggi partendo paralleli dall'oggetto lontano AB, e rimbalzando convergenti dallo specchio CD descrivono l'immagine rovesciata *ab*. Uscendo quindi divergenti da questo foco cadono sul piccolo specchio E, e riflessi da questo alquanto convergenti passano pel forame dello specchio grande CD. Cadendo poi sul vetro raccoglitore FG, e resi da questo più convergenti, dipingono nel suo foco la seconda immagine *cd*, che formata precisamente nel foco dell'oculare HI è guardata dall'occhio sito in O sotto l'angolo ottico *eOf*, e quindi di molto ingrandita. S'impiega questo telescopio per l'osservazione degli oggetti terrestri, vedendosi questi dritti pel suo mezzo.

TELESCOPIO DI HERSCHEL.

1154. Il telescopio inventato dal celebre HERSCHEL costa dello specchio concavo CD alquanto inclinato sul fondo del tubo, e dell'oculare EF distante dallo specchio della somma delle due distanze focali della lente e dello specchio (Tav. 16 fig. 8). Partendo quindi paralleli i raggi dall'oggetto lontano AB cadono sullo specchio, e riflessi da questo convergenti dipingono in *ab* l'immagine, che guardata dall'occhio sito in O sotto l'angolo EOF comparisce ingrandita nel rapporto della distanza focale dello specchio con quella della lente.

Permettendo questo telescopio l'ingresso a molta luce per la sua apertura, si ha non solo chiarezza, ma anche molta forza d'ingrandimento. Se gli imputa solo di non potersi osservare col suo mezzo l'astro od un oggetto qualunque che colle spalle ad esso rivolte. Ha costruito però **HERSCHEL** dei telescopii di 7 a 40 piedi di foco, dandovi una forza d'ingrandimento sino a 40 mila.

1455. Ad onta de' varii pregi de' telescopii catadiottrici presentano essi varii inconvenienti. Oltre il loro piccol campo, e la facile ossidazione de' loro specchi metallici, rendono gli oggetti alquanto oscuri. Convengono infatti tutti i Fisici di perdersi più luce per la riflessione dei cennati specchi, che per la refrazione delle lenti oggettive. Il solo telescopio di **HERSCHEL** è in gran parte immune da questi difetti. Sono quindi generalmente preferiti i telescopii diottrici acromatici come quelli che raggiungono pienamente lo scopo.

CAPITOLO XV.

SPIEGAZIONE DE' PRECEDENTI FENOMENI COLL' IPOTESI DELLE ONDULAZIONI, E PARAGONE DI QUESTA CON QUELLA DELLE EMISSIONI.

1456. Tutti i fenomeni luminosi spiegati coll'ipotesi delle emissioni altrimenti spiegansi con quella delle vibrazioni. Non è la luce secondo questa che il prodotto di un movimento ondulatorio eccitato dai corpi luminosi in un'etere eminentemente sottile ed elastico che riempie il vuoto mondano (§. 747). Non può eseguire questo etere delle vibrazioni d'ineguale velocità senza can-

giarne la durata. Queste modificazioni però non ne producono nella totale velocità della propagazione del movimento, poichè essendo più rapide le oscillazioni sono anche in proporzione più brevi. Altra differenza quindi non v'ha che, essendo più o meno numerosi gli urti ad un tempo ricevuti e trasmessi, ne risultano diverse impressioni. Qualunque poi sia la velocità delle vibrazioni, si propagano esse intorno al centro di scuotimento in ogni direzione rettilinea, in modo uniforme e senza cangiare di natura, purchè la densità del mezzo sia omogenea. Avvengono inoltre queste ondulazioni in modo, che la molecola del corpo vibrante imprime il suo movimento progressivo al primo strato di fluido, questo lo comunica al secondo e così in appresso. Trasmesso appena però il moto vibratorio dalle molecole respinte del primo strato, per la propria elasticità retrocedendo ritornano nel loro stato primiero. Praticando altrettanto quelle del secondo strato e così in appresso, producesi in tal maniera il doppio moto, di condensazione cioè, ed di rarefazione (§. 749).

1157. Non essendo dunque secondo questa ipotesi un punto lucido che un punto vibrante, cioè che va e ritorna in egual tempo e colla stessa velocità; questo moto di vibrazione è comunicato dal punto alle particelle del fluido etereo che sono con esso in contatto. Il numero delle particelle eterree poste in moto nel tempo, in cui il punto lucido esegue un'intera vibrazione, costituisce un'onda risultante da due eguali semiondulazioni, l'una delle particelle che vanno in avanti, e l'altra di quelle che ritornano indietro; e tutta l'onda è nell'etere più o meno lunga secondochè più o meno dura la

vibrazione del punto lucido, e più o meno lungi propagasi il movimento. Or propagandosi la vibrazione del punto lucido nel mezzo omogeneo, qual'è l'etere, secondo le leggi meccaniche, ed in linea retta; si rende un tal punto un centro di vibrazione intorno a cui una sfera formasi di onde lucide (§. 899). Ognuna di queste mosse immediatamente dal punto lucido trasmette secondo la sua direzione alle successive particelle il moto vibratorio ricevuto, e queste di mano in mano lo comunicano alle altre, onde lo stesso movimento passa da strato in strato indefinitamente. Una serie quindi di onde moventesi tutte in avanti e indietro nella stessa linea forma un lucido raggio, che percuotendo il nostro occhio rende visibile il punto lucido, da cui partì il movimento. Ond'è questo punto il centro di molti raggi che partono da tutti i lati nello spazio, e continuamente divergendo propagansi in linea retta.

4458. Benchè le onde prodotte da una vibrazione del punto lucido sieno egualmente lunghe, ripetendo in egual tempo la stessa vibrazione; pure propagandosi divergenti più ampie rendono, e recansi all'occhio in forma di un cono lucido (§. 902). Ma tagliandosi un cono retto con piani normali all'asse e quindi tra essi paralleli, rilevan questi delle superficie crescenti in ragione dei quadrati delle loro distanze dal vertice; comunicandosi quindi il movimento ad un numero di molecole crescente in ragione della distanza dal punto lucido, s'indebolisce nello stesso rapporto il movimento e con esso la sensazione luminosa dall'onda prodotta (§§. 900—903); ond'è l'intensità della luce in ragion inversa dei quadrati delle distanze. Indebolendosi

dunque il moto dalla distanza , s'intende perchè i corpi ci appariscano secondo le distanze ora lucidissimi , or appena visibili, e si rendano anche talora invisibili, potendo esser per altri chiaro ciocch'è per noi oscuro, sino ad un certo termine a noi ignoto.

1159. È applicabile ciocchè si è detto di un punto ad un corpo luminoso qualunque , non essendo questo che un assieme di punti vibranti , imprimenti all'etere oscillazioni di ogni specie di velocità, e producenti onde di varia lunghezza , che corrisponder possono ai diversi colori (Tav. 16 fig. 9). Si è calcolato di potersi eseguire 564000 ondulazioni in una millionesima parte di 1''; e tutte queste componendosi tra loro, senza potersi distinguere l'una dall'altra , eccitano una sensazione composta , cioè la *luce bianca*. È in questo modo che vanno spiegati tutti i fenomeni della luce diretta.

1160. I risultati di alcuni importanti esperimenti per la prima volta istituiti dal celebre Young , in sostegno dell'ipotesi delle vibrazioni , sono i seguenti. Avendo ogni onda due moti alternativi , l'uno di condensazione , di rarefazione l'altro; se due onde della stessa lunghezza si raggiungono , i loro movimenti di vibrazione possono o no , essere tra loro di accordo. Incontrandosi i movimenti in avanti od indietro dell'una cogli analoghi dell'altra , le vibrazioni delle particelle eteree ne saranno rinforzate, e per questo moto rinvigorito la luce sarà più viva. Ma se i movimenti delle due onde sono in ordine contrario , ossia mentre l'una va avanti l'altra si porta indietro od al contrario, i due movimenti opposti si distruggono, o come dicesi *si neutralizzano* in tutto od in parte , e si ha una luce

debole , oppure oscurità. Non altrimenti avviene gittandosi in un recipiente pieno di acqua tranquilla due piccoli sassi a qualche distanza tra di loro. Si eccitano alla superficie del liquido due gruppi di onde, prodotti da moti oscillatorii, che ne muovono alternativamente le particelle in alto ed in basso. Intersecandosi le onde , nel punto d'intersezione la superficie liquida si rende talora piana ed immobile , e talora con maggior vigore si gonfia ed ondeggia. Si ha il primo effetto quando i moti delle onde che s'intersecano sono eguali ed opposti , quando cioè le particelle dell' una si abbassano mentre quelle dell' altra sollevansi con eguale velocità. Si ha il secondo effetto quando le particelle di ambe le onde si alzano ad un tempo o si deprimono. Aggiungendosi quindi onda ad onda , o luce a luce , si produce talvolta una luce più viva oppure un' oscurità perfetta. Or queste addizioni o distruzioni di luce prodotte dall' accordo o dissaccordo de' moti vibratorii delle onde eterie che s' incontrano o s' accozzano (*they interfere*) chiamansi da Young con vocabolo Inglese *interferenze*.

4161. L' esperimento fondamentale del principio delle interferenze è il seguente. Facendosi giungere nel punto C (Tav. 16 fig. 10) per mezzo di due specchi A e B , leggermente fra loro inclinati , due raggi derivanti dallo stesso punto luminoso S ; tostocchè avranno essi percorso lo stesso spazio e saranno giunti in circostanze simili , vibreranno all' unisono , i loro movimenti si uniranno , e la luce ne sarà aumentata. Allontanandosi però uno degli specchi col trasferirsi per esempio B in B' , il raggio riflettuto da questo specchio scorrendo uno

spazio maggiore giungerà in C vibrando in senso contrario ; onde neutralizzandosi i moti ne risulterà in questo punto riposo ed oscurità. Scostandosi quindi dippiù lo specchio B, il periodo del movimento sarà unisono al primo , e quindi il punto di coincidenza C resterà illuminatissimo.

1162. Ha ottenuto ARAGO gli stessi effetti variando la densità , ossia la natura de' mezzi nel passaggio di uno dei sistemi d' ondulazione , invece della distanza de' due specchi. Diminuendo la densità dell'aria in uno de' cannelli per cui passava la luce , per esempio in D (Tav. 16 fig. 11), o mutando la natura del mezzo coll'immissione d'una piccolissima quantità di gas o di vapore ; il fascetto di luce SA affrettava o ritardava il suo cammino, e non potendo quindi giungere nel punto G nel tempo in cui vi giungeva il fascetto SB , il raggio AC offriva con BC alternative di coincidenza e discordanza.

1163. Da questa legge, secondo la quale i raggi pel diverso loro cammino si copulano o si distruggono in tutto od in parte, s'inferisce che quando due movimenti prodotti dallo stesso centro di vibrazione s'incontrano in un punto dopo eseguito un egual numero di moti alternativi in avanti o indietro , ossia di ondulazioni, sono essi di accordo ed i loro effetti s'aggiungono. Lo stesso avviene se l'uno ha fatto più dell'altro , due, tre , quattro. . . . ondulazioni, cospirando allora i moti progressivi e retrogradi dell'uno con quei dell'altro. Ma se avendo fatto uno un pari numero di semiondulazioni , ne ha fatto l'altro un numero impari , i moti prodotti dal comun centro nell'incontrarsi sono discordi e

tra essi distruggonsi , per corrispondere il moto progressivo dell' uno al retrogrado dell' altro , ed all' opposto. Altrimenti enunciandosi questo principio , si è stabilito , che due raggi s' aggiungono quando hanno scorso eguali spazii, o differiscono per quantità espresse dai numeri 1, 2, 3. . . e distuggonsi quando la differenza del cammino è $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$. . . rappresentandosi l' unità dello spazio dalla lunghezza di un' ondulazione, dal doppio movimento in avanti e indietro. Può dunque esprimersi la stessa legge cogli spazii, colle ondulazioni e col doppio movimento.

4464. È quindi chiaro che ove i raggi luminosi s' incontrano avviene una interferenza ; e la specie d' influenza che gli uni sugli altri esercitano è determinata dalla lunghezza de' cammini trascorsi dal punto da cui si partono a quello in cui s' incontrano, potendosi da essi dedurre l' accordo o la discordanza de' loro moti, o sia il loro incremento o la loro distruzione.

4465. In un mezzo elastico ed omogeneo ogni scuotimento si propaga costantemente nella stessa direzione comunicandosi successivamente da parte a parte. Così una palla elastica , che ne urta un' altra di massa eguale , comunicandole tutta la sua forza motrice , resta in riposo ; ma non così quando le masse sono ineguali ; poichè se la palla urtante è più grande dell' urtata , dividerà con questa la sua forza motrice continuando a muoversi per la stessa direzione ; ma se è più piccola, rimbalzerà indietro per una direzione opposta alla primitiva. Non altrimenti le particelle eterree urtando contro quelle dei corpi ne sono riflesse per la enorme differenza delle prime dalle seconde. Le asprezze intanto

e le prominenze di cui abbondano le superficie de' corpi, anche di quelli che sembrano i più lisci e puliti, non alterano affatto la regolarità della riflessione, l'eguaglianza cioè degli angoli d'incidenza e di riflessione (§. 917); supponendosi in questa ipotesi che le asprezze collocate ne' corpi levigati ad una distanza minore della lunghezza dell'ondulazione non possono mai cangiare la natura delle onde luminose; onde seguir deve la riflessione come se la superficie de' corpi fosse perfettamente polita. Concedesi però che i punti della superficie riflettente, su cui sorta l'onda luminosa, diventano tanti centri di vibrazione, i quali separatamente agendo mandano de' raggi di varia densità in ogni direzione. Di questi raggi, ossia di questi movimenti formeranno alcuni gli angoli d'incidenza eguali a quelli di riflessione, ed altri no; e di questi ultimi la maggior parte si neutralizzerà non sfuggendo che pochissimi alle interferenze, le quali non giungono mai a distruggere ogni vibrazione, ogni raggio cioè obbliquo alla direzione del moto principale. I corpi adunque più lisci e puliti, che riflettono in maggior copia la luce, diminuiscono sempre l'intensità delle vibrazioni luminose, ossia lo splendore della luce.

4166. A meglio però intendere che di tutti i raggi sussister debbono quei soli che formano gli angoli d'incidenza eguali a quelli di riflessione, è d'uopo riflettere che il movimento il quale giunge sulla superficie $A B$ (Tav. 46 fig. 42) mette i punti c, c' ... in vibrazione luminosa, che si propaga intorno ad essi in ogni senso. Di questi movimenti sussister non possono che quelli i quali sono nella direzione $cb, c'b'$..., poichè presi al di-

sopra della superficie AB i punti $b, b'...$ nella direzione in cui sono al disotto $d, d'...$ ove sarebbero giunti direttamente i moti vibratorii, l'istesso spazio percorrono i raggi riflettendo che avrebbero scorso camminando in linea retta per $acd, a'c'd'...$ E come senza il piano si sarebbe la luce propagata in linea retta presso $d, d'...$, così la luce riflessa, somigliandosi del tutto i movimenti che avvengono su di AB, si propagherà anche verso $b, b'...$ Ma i raggi $cb, c'b'...$ non possono situarsi su di AB come i raggi $cd, c'd'...$ se gli angoli formati dagli uni e dagli altri colla superficie AB non si eguagliano. Essendo dunque l'angolo bcB , che forma il raggio riflesso colla superficie AB, eguale all'angolo Bcd ; ed essendo $Bcd = acA$ come alterni ed opposti, sarà l'angolo $acA = bcB$, cioè l'angolo di riflessione eguale a quello d'incidenza. E ripetendosi lo stesso per tutti gli altri raggi riflessi, ne siegue che non propagandosi questi come i diretti che quando fanno gli angoli d'incidenza eguali a quelli di riflessione, potranno in questo sol caso sussistere dopo la riflessione i movimenti vibratorii.

4167. A meglio ridurre la dimostrazione al principio delle interferenze, si facciano cadere sulla superficie AB i due raggi $ac, a'c'$, (Tav. 16 fig. 12), i quali derivando da un centro di vibrazioni infinitamente lontano, sono tra loro paralleli; conducendo indi tra questi pel punto c' la normale $c'e'$, l'onda arriverà ad un tempo in c' ed in e' . Tra i moti vibratorii infine che partono da c' e c , si prendano $cb, c'b'$, i quali concorrendo in un punto infinitamente lontano riguardo all'intervallo $c'e$ si riguardano anche come paralleli. E supposto l'angolo $b'e'B$ eguale ad acA , i raggi $cb, c'b'$ giunti al loro punto d'in-

contro saranno perfettamente d'accordo. Guidata iufatti dal punto c su di $c'b'$ la normale ce , i due triangoli $c'e'c$, cec' saranno eguali, onde $c'e = e'c$, ossia la parte di spazio scorso dal raggio incidente ac più di $a'c'$ per giungere alla superficie AB eguaglia la parte di quello che il raggio riflesso in c' scorrer deve più del riflesso in c per giungere al punto di concorso. Giungendovi quindi scorrono lo stesso spazio e si mettono perfettamente d'accordo. Ma se gli angoli $c'e'c$, cec' , ossia quelli d'incidenza e di riflessione, fossero ineguali; i raggi riflessi, benchè fossero tra loro paralleli, non potrebbero sussistere per la loro discordanza. In questo caso i due triangoli $c'e'c$, cec' non sarebbero eguali, nè $c'e = e'c$; ineguali cioè serebbero i loro cammini, e potendosi questa ineguaglianza sempre ridurre ad una semiondulazione, i moti vibratorii di questi raggi sarebbero del tutto discordi. Procedendo anzi per direzioni parallele, ed essendo in circostanze del tutto eguali avrebbero la stessa intensità; ed essendo i loro movimenti eguali ed affatto discordi, mancherebbero interamente, ossia si neutralizzerebbero. La luce dunque riflettendosi fa gli angoli d'incidenza eguali a quelli di riflessione in quantochè dei movimenti vibratorii, che partono dai punti $c', c...$ soltanto quelli che obbediscono a questa legge non si neutralizzano.

1468. Negando i fautori di questa ipotesi l'influenza di ogni forza ammessa nell'altra per spiegare i fenomeni della riflessione (§. 920), niun conto tengono dell'attrazione per dichiarare quelli della refrazione (§. 976). Non ripetono questa che da un'alterazione nel moto vibratorio delle onde luminose, il quale perde

tantopiù di celerità nella trasmissione per quanto il mezzo è più denso e meno elastico. Poichè sia che le molecole de' corpi rendono difficile il moto dell' etere che racchiudono, onde si rende questo fluido meno elastico; sia che vibrando le molecole coll' etere formino un composto più denso; sia che la quantità dell' etere contenuto ne' varii corpi sia maggiore di quella che occupa la stessa nel vuoto; qualunque esser ne possa la non ben nota cagione, sostengono di esser la luce men celere ne' corpi più rifrangenti e più ne' meno rifrangenti. Or per quest' alterazione di celerità dovendo esser varia la lunghezza delle ondulazioni luminose, i raggi refrangendosi percorrer debbono nello stesso tempo degli spazii, minori se da un mezzo più passano in altro meno rifrangente, e maggiori se da un mezzo dotato di maggior forza rifrattiva passano in altro che lo è di meno.

1469. Ciò posto sia AB (Tav. 16 fig. 13) la superficie che separa i due mezzi, ne' quali non si propaga la luce con eguale celerità, essendo essi di diversa natura; e sieno C D, F G due raggi, che partendo da un punto infinitamente lontano cadano paralleli su di AB. Guidata la normale GK, i moti corrispondenti delle ondulazioni de' due raggi incidenti giungeranno contemporaneamente in G e K, talchè sarà KD lo spazio che il raggio CD dovrà scorrere di più per giungere alla superficie. Tirata poi per DC la retta LD normale ad AB, sieno DE, GH i raggi rifratti che debbono concorrere in un punto infinitamente lontano. Abbassata poi la normale DI, sarà GI la parte di spazio che il raggio rifratto GH dovrà scorrere più dell' altro DE movendo dalla superficie per giungere al punto di concor-

so. Or a pervenire i due raggi ad un tempo in questo punto, i due spazii KD, GI debbono essere simultaneamente scorsi, con celerità di propagazione proporzionali a siffatti spazii. Ed essendo esse come le lunghezze delle ondulazioni, quei due spazii esser debbono tra loro come queste. Quando dunque le lunghezze delle ondulazioni sono a tali spazii proporzionali, giungono i raggi simultaneamente allo stesso punto, e le loro vibrazioni sono perfettamente d'accordo. Or preso GD per raggio, è KD il seno dell'angolo KGD eguale a quello d'incidenza KDL, e GI il seno dell'angolo GDI eguale a quello di rifrazione EDM. Le lunghezze quindi delle ondulazioni esser debbono tra esse come il seno d'incidenza a quello di rifrazione (§§. 968-969), per poter concorrere i raggi nello stesso punto ed esser di accordo le loro vibrazioni. Da questo principio intanto non segue che tutti i raggi passando da un mezzo in un' altro prendano tale direzione che il seno dell'angolo di loro rifrazione stia a quello della loro incidenza come le rispettive lunghezze d'ondulazioni nell'uno e nell'altro mezzo; e che sussister debbano quei soli che serbano questo rapporto; poichè tutti quelli che non seguono questa direzione non potendosi riunire per formare di nuovo un'onda totale sensibile, debbono essere estinti o neutralizzati dalle reciproche interferenze. Si spiega così la refrazione e la legge a cui si uniforma la luce nel rifrangersi; e secondo questa spiegazione han proposto ARAGO e FRESNEL più metodi per riconoscere il diverso potere rifrangente de' corpi (§§. 1028-1029).

1170. Riguardandosi un corpo luminoso come un

assieme di punti vibranti , imprimenti all' etere oscillazioni di ogni grado di velocità , e producenti onde di varia lunghezza (§. 1159) ; ne segue , che non tutte possono agire nella stessa guisa sull'organo della vista, ma deve produrvi ognuna una particolare imprcssione. Secondo questa ipotesi adunque risultano i varii colori dalla diversa lunghezza delle ondulazioni; e calcolati in frazioni di millimetri i rapporti delle lunghezze delle ondulazioni di ogni raggio colorato , si sono scoperti i medii seguenti : Rosso = 0,000620 ; Arancio = 0,000583; Giallo = 0,000551 ; Verde = 0,000512 ; Celeste = 0,000475; Indaco = 0,000449; Violetto = 0,000423; onde l'ondulazione produttrice del raggio rosso ha la massima lunghezza, e la produttrice del violetto la minima. E poichè queste vibrazioni , che sono unite nella luce bianca , nel refrangersi si propagano con varia celerità ; così quella attraversando un corpo rifrangente prismatico mostra i suoi diversi colori (§. 1000) , i quali poi sovrapponendosi per mezzo di una lente convessa producono di nuovo la sensazione della luce bianca (§. 1003). Le onde inoltre di lunghezza maggiore di 6 oppure di 7 diecimillesimi di millimetro sono per noi invisibili e non ci si rendono note che per l'azione calorifica che eccitano , e che si manifesta nel color rosso dello spettro ed al di là nella parte oscura (§. 1012) ; talchè il calorico che accompagna la luce non è che una vibrazione coll'occhio non ravvisabile. Tutte quelle onde poi di lunghezza minore di 4 diecimillesimi di millimetro , e di cui s'ignorano i limiti , sono inefficaci come le precedenti per l'organo della vista , e non si riconoscono che per le loro azioni chi-

miche. Trovansi queste onde o raggi verso il color violetto ed al di là nella parte oscura (§. 1015).

1171. Per spiegare poi i fenomeni degli anelli colorati si ammette il seguente principio. Propagandosi una vibrazione in un mezzo di densità ed elasticità uniforme non mai retrocede; ma comunicandosi a nuovi strati lascia i precedenti in una quiete assoluta; al pari di una palla elastica che urtandone altra di egual massa le comunica tutta la sua forza motrice e resta immobile dopo l'urto; mentre nel caso di massa maggiore o minore dell'urtata prosegue l'urtante a muoversi anche dopo l'urto, retrocedendo se la massa minore, progredendo se l'ha maggiore. Giungendo quindi un'onda alla superficie di contatto di due mezzi elastici di varia densità, lo strato sommamente sottile del primo mezzo che tocca il secondo, e che può somigliarsi alla palla urtante, non resta in quiete dopo d'aver mosso il contiguo strato del secondo mezzo, ma si riflette; la nuova celerità per altro che anima lo strato del primo mezzo dopo l'urto e che successivamente comunicasi agli strati precedenti, aver deve vario segno secondocchè lo strato del secondo mezzo è più o meno denso di quello del primo. Secondocchè dunque un'onda luminosa è riflessa dentro o fuori del mezzo più denso, la celerità di oscillazione è positiva o negativa; onde tutti i moti oscillatorii corrispondenti hanno ne' due casi segni opposti.

1172. Si supponga dunque riflessa la luce sotto l'incidenza perpendicolare od in una direzione che se ne allontani ben poco; e si consideri un solo sistema di onde spinte dall'oggetto luminoso sulla prima superfi-

cic della lamina d'aria , o sulla seconda del vetro superiore nell'apparato newtoniano (§. 1033). Ciochè diceasi di questo sistema è applicabile a tutti gli altri. Appena che giunge l'onda alla superficie che separa il vetro dall'aria, soffre una parziale riflessione che di poco diminuisce l'intensità della luce nell'aria trasmessa, e produce dentro il primo vetro un altro sistema di onde , d'intensità ben inferiore a quella della luce trasmessa. Questa dunque resta un poco indebolita da tale prima riflessione ; onde giunta alla seconda superficie della lamina aerea produce un secondo sistema di onde riflesse , d'intensità quasi uguale a quella delle onde eccitate dalla prima riflessione. Accozzandosi dunque le onde sensibilmente eguali in intensità provenienti dalle due riflessioni , saranno per la loro interferenza molto vivaci i colori che si sviluppano se la luce incidente è bianca , e brillanti e sicuri gli anelli se la luce è omogenea. Or essendo sensibilmente parallele le due superficie della lamina d'aria presso al punto di contatto , ove si formano gli anelli colorati , i due sistemi d'onde seguiranno la stessa strada ; ma quello riflesso alla seconda superficie si troverà ritardato riguardo all'altro, di uno spazio eguale al doppio della grossezza della lamina di aria, che ha due volte attraversato. Essendosi inoltre riflesso uno di questi sistemi in senso opposto a quello dell'altro , il primo dentro del vetro o del mezzo più denso , il secondo fuori del vetro inferiore ; pel principio poc' anzi stabilito nasce da questa differenza un' opposizione nel senso dei moti oscillatorii. Quando dunque per la differenza degli spazii scorsi i due sistemi d'onde dovrebbero concordare nel-

l'accozzarsi, oscillare cioè nello stesso senso, sono all'opposto in completa discordanza; e reciprocamente quando la differenza degli spazii scorsi indicherà una perfetta discordanza i loro moti oscillatorii perfettamente si accorderanno.

1173. Ora non è difficile il determinare il sito degli anelli scuri e de' lucidi quando cadono sulle lenti i raggi omogenei. Il punto di contatto, in cui la densità della lamina d'aria è zero, non producendo alcuna differenza di cammino tra i due sistemi d'onde, dovrebbe dar luogo ad un perfetto accordo nelle loro vibrazioni; ma avendo questi due sistemi moti contrarii, si neutralizzano; ed il punto di contatto guardato per riflessione presenterà una macchia nera. Non così però quando dal punto di contatto si passa ove la grossezza della lamina d'aria eguaglia $\frac{1}{4}$ di ondulazione, essendo in tal caso la differenza del cammino tra i due sistemi delle onde riflessa dalla prima e seconda superficie eguale ad una semiondulazione, che secondo il principio delle interferenze invece di una perfetta discordanza (§. 1163), dà nel caso attuale al contrario un perfetto accordo, cioè il punto più illuminato del primo anello lucido. Se poi la grossezza dell'aria eguaglia la metà di un'ondulazione, la differenza dello spazio scorso sarà di una intera ondulazione, che lungi dall'accordo dà nel caso attuale una compiuta discordanza, onde vedrassi nel mezzo un anello oscuro. E così di mano in mano alterneranno gli anelli scuri e lucidi, corrispondendo quelli alle grossezze 0 , $\frac{1}{2}d$, d , $\frac{3}{2}d$, $2d$, $\frac{5}{2}d$ &c.; e questi alle grossezze $\frac{1}{4}d$, $\frac{3}{4}d$, $\frac{5}{4}d$, $\frac{7}{4}d$, $\frac{9}{4}d$, &c. chiamandosi d la lunghezza di un'ondulazione nell'aria. Presa per unità

il quarto di questa lunghezza, le grossezze dell'aria corrispondenti ai massimi e minimi di luce saranno espresse per gli anelli scuri da 0, 2, 4, 6, 8 ec; e per i lucidi da 1, 3, 5, 7 ec. come deducersi dalle misure ed esperienze di NEWTON. È questa unità intanto la precisa lunghezza degli intervalli delle alternative degli accessi newtoniani delle parti lucide; onde moltiplicandosi per 4 le misure datene da NEWTON per le sette principali specie de' raggi prismatici, si hanno le corrispondenti lunghezze delle loro ondulazioni.

1174. Così la formazione degli anelli riflessi si spiega coll'interferenza dei raggi riflessi alla prima e seconda superficie della lamina d'aria. Quella degli anelli veduti per trasmissione si spiega da YOUNG coll'interferenza dei raggi direttamente trasmessi, e con quella dei raggi trasmessi dopo due consecutive riflessioni nella lamina sottile; o colla diversa intensità di questi due sistemi di onde, rend'egli ragione degli smorti colori di tali anelli.

1175. Esaminati gli anelli prodotti dalla luce omogenea, è facile conoscere ciò che deve aver luogo se la luce è bianca, riflettendo che nel raggio di questa agiscono contemporaneamente tutti i colori, e che d , ossia la lunghezza dell'ondulazione ha per ogni colore un diverso valore (§. 1170). Ora la differenza del valore di d è la causa dello sviluppo de' colori, che per la mutua influenza de' raggi tingono gli anelli negli esposti sperimenti fatti colla luce bianca. Se questo valore fosse eguale per tutti i raggi prismatici, la larghezza degli anelli o l'intervallo tra i mezzi di due anelli brillanti o scuri consecutivi sarebbe pure eguale; soprapponendo-

si esattamente i loro punti più oscuri e più brillanti , i diversi raggi componenti la luce bianca si troverebbero per tutto in eguali proporzioni , e produrrebbero una serie di anelli neri e bianchi senza alcuna colorazione. Ma variando d per ogni raggio , la larghezza de' loro anelli seguir deve lo stesso rapporto ; ond'è che gli anelli scuri e brillanti non possono più soprapporsi , e tanto più differiscono di posizione , quanto più si allontanano dalla linea di mezzo. L' anello brillante dunque dei raggi di un dato valore corrisponder deve all'anello scuro di un'altra specie di raggi , onde predominino i primi , eccelsandosi gli altri. Così gli anelli presenteranno una serie di tinte che varieranno in ragione delle ineguali proporzioni secondo cui si mescoleranno i diversi raggi componenti la luce bianca. La macchia centrale in fine è sempre nera o bianca , perchè ov' essa si manifesta si distruggono scambievolmente le ondulazioni di tutti i raggi , o tutte scambievolmente s'invigoriscono. Così spiegansi gli anelli colorati quando l'incidenza della luce è perpendicolare o poco obliqua ; ma quando tale obbliquità è ben grande, i calcoli di YOUNG non più s'accordano cogli insegnamenti di NEWTON e dell'esperienza, ed i partigiani delle vibrazioni per spiegare siffatta anomalia ricorrono a certe modificazioni sinora ignote , che suppongono avvenire nella refrazione della luce , quando questa passa molto obbliquamente fra due superficie assai vicine.

4476. È facile quindi l'intendere la spiegazione de' colori de' corpi coll'ipotesi in discorso. Hanno i corpi secondo questa diversi gradi di elasticità che varia secondo la disposizione delle loro molecole. Rinviano

quindi in varie guise le ondulazioni di diversa lunghezza, che con essi s' imbattono, o che in parte li penetrano. Da tale diversa dispersione di raggi d'ineguale lunghezza nasce una copia di costanti interferenze, che neutralizzando tutti gli altri colori dà luogo alla formazione di un solo, ch'è quello del corpo. Quei che rimandano egualmente le onde di ogni lunghezza compariscono bianchi. Gli altri che le accolgono nel loro interno l'estinguono o le rinviano in modo da scontrarsi le onde in perfetta discordanza, e compariscono neri. Altri in fine dotati di proprietà intermedie tra questi estremi producono effetti intermedii, distruggono alcune onde, altre ne rinviano, e presentano i colori con quelle numerose gradazioni che corrispondono alle lunghezze delle onde. L'ineguaglianza insomma delle vibrazioni riflesse o trasmesse dai corpi secondochè colorano la luce per riflessione o per rifrazione, produce i più sorprendenti fenomeni de' colori de' corpi. Anzi si suppone che per l'imperfetta molla de' corpi il movimento di vibrazione sia in tutto o in parte distrutto, od almeno modificato in modo da potersi cangiare in vibrazioni invisibili, che potranno produrre effetti calorifici e non luminosi.

4177. Spiega HUGENIO i fenomeni della doppia rifrazione con una legge generale (1). Supponendo egli propagarsi la luce nei mezzi ordinarii in onde di eguali celerità per ogni verso, ossia in onde sferiche, immagina di propagarsi nello spato d'Islanda in onde sferoidiche, ossia con ineguali celerità corrispondenti ai due

(1) HUGENII, *Tractatus de lumine*, cap. 5.

inequali assi dello sferoide. Quindi dalle ondulazioni sferiche ricava il raggio ordinario, e dalle sferoidiche lo straordinario, di cui trova la direzione con una costruzione geometrica, non solo verificata dal fatto in diversi cristalli, ma confermata benanche dalle formole di LA PLACE, fondate sull'ipotesi dell'emissione e sulla teoria dell'attrazione (1). E benchè la legge di HUGENIO che sembra un'empirica approssimazione abbia così preso l'aspetto di verità; pure YOUNG e FRESNEL attenendovisi fermamente rendono ragione de' principali fenomeni della doppia refrazione colla diversa celerità, che ne' cristalli per la loro diversa natura prendono i raggi ordinario e straordinario. Questa diversa velocità intanto dei due raggi può risultare positiva o negativa secondochè l'una o l'altra è maggiore o minore. È positiva infatti nello spato d'Islanda e negativa nel quarzo, onde credesi che in quello i raggi ordinarii procedono men presto degli straordinarii, ed in questo al contrario; e ripetonsi da ciò i fenomeni riconosciuti da BIOT della doppia refrazione attrattiva e ripulsiva (§. 1066).

1178. FRESNEL e con esso tutti i partigiani dell'ipotesi delle vibrazioni riguardano come *raggio polarizzato* quello, in cui la vibrazione segue costantemente in un piano per un moto regolare impresso alla molecola luminosa originariamente o per qualche susseguente cagione agente sulle onde istesse per disporre i piani di vibrazione di tutte le loro molecole per un verso. Un *raggio non polarizzato* è quello in cui il piano di vibrazione continuamente varia, o le molecole oscillanti

(1) BIOT, *Traité de Physique*, tom. 3. p. 137.

del corpo luminoso cangiano continuamente i loro piani di moto , e nessuna causa ha susseguentemente agito per recare le vibrazioni così eccitate nell' etere a piani coincidenti. La seguente analogia rende tutto ciò più facile a concepirsi. Al pari di una corda indefinitamente lunga che stirata orizzontalmente si agita in un' estremità colla mano quà e là con un moto perpendicolare alla sua lunghezza ; un' onda , od una successione di onde si propagherà lungo di essa , ed ognuna delle sue molecole dopo un tempo proporzionale alla sua distanza dalla mano comincerà a descrivere una curva simile e similmente posta a quella descritta dalla estremità , da cui ha origine l'agitazione. Se l'agitazione si ripete regolarmente e costantemente si mantiene in un piano, in un piano istesso si manterrà il moto di ogni molecola , e l'intera estensione dell'onda prenderà la forma di una curva ondolante in un piano sin dove si è esteso il moto ; e rappresenterà così un sistema di onde od un raggio polarizzato. Che se dopo poche vibrazioni in un piano, si faccia vibrare l'estremità in un altro piano, ed indi in un altro , e così in appresso , talchè il piano di vibrazione rapidamente trascorre per molte varie posizioni ; seguendo il moto di ogni molecola esattamente la stessa legge che quello dell' estremità , sarà composta la curva di parti situate in diversi piani. E benchè le molecole eterree non siano così strettamente unite come quelle della corda , pure le ondulazioni di questa in uno o in più piani danno chiara idea del raggio polarizzato e del non polarizzato.

1179. Ciò premesso , deridendo FRESNEL i poli e le diverse loro proprietà nelle impercettibili particelle

della luce , rende conto de' varii fenomeni della polarizzazione. Avverte egli primieramente , che i due fascetti , in cui la doppia refrazione divide i raggi che attraversano i cristalli, non hanno le stesse proprietà in ogni parte intorno la loro direzione, essendo ora ordinariamente ed ora straordinariamente rifratti da un secondo cristallo , secondocchè la sezione principale è parallela o normale ad un certo piano (§. 1070). Tirandosi dunque delle normali ai raggi secondo questi piani , e supponeudole trasportate nel suo progresso dal sistema di onde , che nell' ipotesi di FRESNEL costituisce il raggio ; indicheranno queste rette i due sensi, in cui il sistema o il raggio presenta proprietà ottiche opposte. Ciò che dicesi dei raggi polarizzati per doppia refrazione, si applica anche ai polarizzati per riflessione od altrimenti. La differenza quindi delle proprietà ottiche , che nei due sensi rettangolari mostrano i raggi polarizzati , è espressa dalla supposizione, che nelle onde luminose i processi polarizzanti eccitano de' *moti trasversali* , cioè che per effetto della polarizzazione scompongonsi le lucide oscillazioni in altre trasversali, ossia normali alla direzione dei raggi nei sensi delle perpendicolari ; e che questi moti non siano gli stessi ne' due sensi.

4180. Per spiegare poi la produzione de' colori ottenuti colle lamine cristallizzate (§. 1082), opina FRESNEL che un raggio polarizzato attraversante una lamina cristallizzata vi si divide in due fascetti polarizzati in opposti sensi rettangolari; ma tra due fascetti di questa specie non v'è interferenza; una lamina dunque non darà colori ad occhio nudo anche quando non sia illu-

minata che con luce polarizzata. Ognuno de' due fascetti ordinario e straordinario proveniente dalla lamina cristallizzata, attraversando un romboide si divide in due fascetti polarizzati ad angolo retto. Dei quattro raggi emergenti due sono ordinarii e due straordinarii, che esercitar possono una influenza gli uni su gli altri. Or dei due fascetti concorrenti alla formazione dell'ordinaria immagine, l'ordinario attraversando la lamina si è tale serbato nel romboide, mentre l'altro dapprima straordinario è passato all'immagine ordinaria per l'azione di questo cristallo. I raggi di diverso nome hanno nei cristalli doppiamente rifrangenti varie celerità. Le differenze di celerità producono nei fenomeni d'interferenza periodi affatto simili ai risultanti dall'ineguaglianza degli spazii scorsi dai raggi prima di accozzarsi (§. 4161). Se dunque nella lamina che s'impiega, la differenza delle velocità de' raggi ordinarii, corrisponde alla quantità d regolante coi suoi multipli i periodi di accordo coi raggi (§. 4173), per esempio rossi; la luce tinta di questo colore sarà predominante nell'immagine ordinaria; lo stesso sarà per gli altri colori. Così le tinte da svilupparsi sono determinate dalle differenze di cammino tra i raggi ordinarii e straordinarii nella grossezza della lamina cristallizzata, come quelle degli anelli colorati ordinarii (§. 4173) lo sono dalla differenza di cammino dei raggi riflessi sulla prima e seconda superficie della lamina aerea; e se si rifletta alla differenza degli spazii scorsi dai raggi formanti uno de' fascetti, s'intenderà di leggieri che corrispondendo d nell'immagine ordinaria all'accordo de' raggi rossi producesi la scambievole distruzione coi rag-

gi analoghi nell'immagine straordinaria; onde predominar deve in questa immagine la luce risultante dalla sottrazione del rosso dal bianco; talchè le due immagini vedute attraverso del romboide debbono esser sempre tinte, come di fatti lo sono, di colori complementarii.

1181. Per intendere i fenomeni degli anelli colorati ottenuti colla luce polarizzata (§. 1089), si rappresenti con AB (Tav. 16 fig. 14) la lamina tagliata perpendicolarmente all'asse, e si situi l'occhio in O . La parte del fascetto incidente, che si rende visibile, forma una specie di cono luminoso aob , i di cui raggi sperimentano effetti ben differenti. I prossimi all'asse DO attraversano la lamina senza deviare; mentre quelli che sono nel contorno attraversandola obliquamente subiscono per conseguenza le due refrazioni ordinaria e straordinaria. Ed essendo ogni sezione perpendicolare, che passa per DO , una sezione principale, queste due refrazioni debbono sempre farsi nello stesso piano. Inoltre i varii raggi egualmente lontani dall'asse, distribuiti sulla stessa circonferenza provano delle modificazioni ben differenti ne' loro piani di massima riflessione; poichè rappresentandosi con ac , bf il taglio del fascetto nel momento, in cui emerge dalla lamina cristallizzata, e con ab il piano primitivo di massima riflessione; è chiaro 1.º che i raggi Oa , Ob restano polarizzati nel piano primitivo, coincidendo il piano di massima riflessione con la sezione principale ab , che essi attraversano (§. 1082); 2.º che essendo cf una sezione perpendicolare ad ab , i raggi Oa , Ob restano egualmente polarizzati nel loro piano primitivo, per essere quello di massima riflessione perpendicolare alla sezione cf da

essi attraversata (§. 1082); 3.^o che i raggi intermedi, come *Od*, *Oc*, dividonsi in due altri, ordinario l'uno, straordinario l'altro, rettangolarmente tra essi polarizzati; non essendo la sezione *dc*, che essi attraversano, nè parallela, nè perpendicolare al piano di massima riflessione. Or questi ultimi raggi così dividendosi prendono necessariamente celerità differenti; e per questa differenza di cammino sviluppano essi degli anelli diversamente colorati. Gli altri raggi che non dividonsi non possono sviluppar colori, e serbando la primitiva polarizzazione saranno tutti assorbiti dalla lamina cristallina, onde comparirà in direzione delle rette *ab*, *fc*, ove sono questi raggi, una croce nera (§. 1089). Può spiegarsi con analoghe osservazioni il doppio ordine di anelli, e le altre particolarità che li riguardano.

1182. Per render conto della polarizzazione circolare coll'ipotesi favorita (§. 1091), suppone FRESNEL di eseguirsi le vibrazioni luminose nel senso della superficie delle onde perpendicolarmente alla direzione de' raggi, e di aver sempre nelle sue vibrazioni un fascetto polarizzato la stessa direzione, essendo il suo piano di massima riflessione quello a cui questi piccoli movimenti oscillatorii delle molecole eteree restano costantemente perpendicolari. Se quindi due sistemi di onde di eguale intensità e rettangolarmente polarizzati, in modo cioè, che i loro movimenti oscillatorii sieno tra essi perpendicolari, differiscono nel loro cammino d'un quarto d'ondulazione; il movimento composto ch'essi imprimeranno ad ogni molecola invece di essere rettilineo, come ne' due fascetti separatamente considerati, sarà circolare, e seguirà con uniforme celerità. Girau-

no le molecole da destra a sinistra quando il sistema di onde avanzato avrà il suo piano di massima riflessione alla dritta del sistema di onde arretrato di un quarto d'ondulazione; gireranno al contrario da sinistra a destra quando il primo piano di massima riflessione sarà a sinistra del secondo, o quando i piani di polarizzazione restando disposti come nel primo caso, eguaglierà la differenza di cammino tre quarti d'ondulazione. Se questa differenza lungi dall'essere un numero pari od impari di quarti d'ondulazione, fosse un numero frazionario, non sarebbero i movimenti oscillatorii rettilinei, nè circolari, ma ellittici.

4183. Spiega FRESNEL i fenomeni della diffrazione opinando che quando si muove un'onda intera se ne muovono le molecole parallelamente alla normale, secondo la quale l'onda si avvanza. Poichè essendo situate le sue particelle su d'una superficie sferica provano ad un tempo la stessa condensazione o dilatazione, e le pressioni laterali si equilibrano. Ma se l'onda è rotta od impedita da un corpo opaco, questo equilibrio trasversale è distrutto. È per ciò che avvengono de' movimenti in ogni direzione, formansi cioè da tutti i varii punti dell'onda novelli raggi più o meno lontani dai primitivi; ed è per ciò che negli esperimenti la luce appare inflessa, ed inflettendosi allarga le ombre, o le impronte lucide, ed atta si rende a penetrare nell'ombra stessa dei corpi (§. 1098). Quando il corpo opaco è stretto, come per esempio un filo d'acciajo, od un capello, ogni punto dell'ombra riceve da ambi i lati ad un tempo due movimenti derivati, che incontrandosi, se sono d'accordo rinforzano le vibrazioni ed aumentano l'intensità della luce,

e se discordi si distruggono e producono l'oscurità. La frangia quindi, che si osserva secondo l'esperimento nel mezzo dell'ombra, è la più lucida e brillante; giacchè i raggi che provengono da ambi i lati del capello, percorrendo spazii eguali, hanno nell'incontrarsi un moto analogo, e la luce diventa più viva. A destra e sinistra di questa banda lucida e centrale ne succedono due oscure, perchè i raggi che vengono da ambi i lati incontrandosi a destra e sinistra del punto di mezzo, dopo di avere scorso spazii ineguali, hanno de'contrarii movimenti. E così di mano in mano, alternandosi l'accordo od il disaccordo ne' moti de' raggi procedenti da ambi i lati del filo o del capello, si alternano in corrispondenza le bande oscure e brillanti. E dovendo succedere i punti di perfetto accordo o disaccordo secondo il principio delle interferenze a distanze eguali; l'intervallo tra i mezzi di due consecutive bande brillanti od oscure dovrebbe essere eguale. Ma ponderandosi che i raggi di vario colore hanno diversa lunghezza di ondulazione, quindi diversi punti d'interferenza, ossia d'accordo o disaccordo; i mezzi delle bande scure e brillanti di ogni colore succedono in diversi punti, ossia non più si trovano tutti i colori in ogni punto in quella proporzione che forma la luce bianca; ma invece di questa si mostrano le frange colorate che prendono la tinta dalla proporzione, secondo cui alcuni de'colori si trovano mischiati. Ed inverso se la luce diffratta invece d'esser bianca, fosse omogenea, ossia d'un solo colore, produrrebbe una serie di bande scure e brillanti dello stesso colore. Avviene per la stessa causa che i colori delle frange sono più vivaci nelle più vicine al centro, e meno nelle altre più lonta-

ne. Poichè come cresce la distanza dal centro le bande scure di alcuni colori corrispondono alle brillanti di altri, si soprappongono, e tinte mostrano più languide, finchè mescolandosi interamente le bande scure e brillanti di tutti i colori si giunga ad una tinta bianca uniforme. Ed essendo più facile questa mescolanza per mezzo della luce bianca che contiene tutti i colori, il numero delle frange visibili con questa non suol' essere più di sette tanto dall'una quanto dall'altra parte del centro. Ed al contrario molto più cresce questo numero quando la luce è meno composta, tanto più lontano dal centro incontrandosi allora il punto della tinta uniforme.

1184. Sono piucchè sufficienti questi pochi principii per intendere comè l'ipotesi delle vibrazioni dà ragione de' varii fenomeni della diffrazione, sia questa prodotta dalla luce che rade i corpi aguzzi o gli orli di una stretta apertura, od in qualunque altro modo. Giova intanto provare in ultimo coll'esperienza il principio delle interferenze, con cui si spiegano i fenomeni della luce diffratta. Posti in contatto i lembi di due specchi metallici A e B (Tav. 16 fig. 15), fra essi un poco inclinati, e colle superficie nello stesso piano, si facciano cadere su di essi in una camera oscura i raggi che si spiccano dal punto lucido S. Essendo uno specchio quasi la continuazione dell'altro, riflettono essi i raggi in guisa che s'incontrano sotto un angolo piccolissimo in a . Or guardandosi con lente di corto foco la superficie illuminata di questi specchi, si osserva la parte comune de' due campi luminosi sparsa tutta di bande brillanti ed oscure ad eguali distanze poste nella stessa serie, intensità e posizione in cui si veggono nella

diffrazione. Si osserva inoltre che impediti da un corpo opaco i raggi derivanti dalla riflessione di un solo specchio, benchè restino quelli che procedono dall' altro, pure spariscono le frange che prima si vedevano. Guardando infine le bande oscure che han luogo nel campo rischiarato dai raggi riflessi da ambi gli specchi, veggonsi esse meno illuminate dello spazio illustrato dalla luce proveniente da un solo specchio. Prova questo sperimento 1.^o dipendere i fenomeni delle frange dall' azione reciproca de' raggi, mancando infatti quelli di uno specchio mancano le frange; 2.^o prodursi talora l'oscurità da questa scambievole influenza de' raggi, trovandosi nel campo doppiamente illuminato le bande oscure, che per l'azione dei raggi che partono dai due specchi sono meno splendenti delle parti laterali illuminate dai raggi riflessi da un solo specchio. Per l'unione quindi de' raggi si diminuisce e giunge a mancare del tutto invece di crescere, come dovrebbe, la luce; onde incontrandosi i raggi riflessi da due specchi producono le frange ne' punti ed intervalli definiti dalle loro interferenze. A veder ciò basta osservare i due sistemi di onde riflessi dagli specchi, descritti con i punti A e B presi per centri delle serie di archi distinti con eguali spazii, e fra loro separati da un intervallo supposto eguale alla lunghezza di una semiondulazione. Le linee piene segnano gli archi circolari, in cui le particelle eteree sono fornite della massima celerità in avanti, e le punteggiate gli archi in cui ha l'etere il massimo movimento retrogrado; talchè le intersezioni degli archi pieni coi punteggiati sono i punti di perfetto disaccordo, ed i mezzi quindi delle bande oscure; ed all' op-

posto le intersezioni degli archi simili i punti dinotano del perfetto accordo, e quindi i mezzi delle bande brillanti. E benchè le onde o i raggi de' due sistemi, facciano tra essi degli angoli piccoli, pure questa lieve obbliquità produce nelle onde di un sistema una serie di spazietti eguali, in cui il suo moto è distrutto ed alternativamente rinforzato dall'onda dell'altro sistema. Nei punti infatti *aa* vi è accordo di movimento, e nei successivi *bb* discordanza, e là si vede la luce bianca o la banda colorata, e quà l'oscurità. Ricevendo perciò quest' onda su di un cartone si distingue una serie di bande scure e brillanti. Le linee *bb* rappresentano le successive posizioni de' punti discordanti, e quindi le traiettorie de' mezzi delle bande oscure; le linee *aa* poi indicano le successive posizioni de' punti di accordo, e perciò le traiettorie dei mezzi delle bande brillanti. La stessa figura prova dunque che le linee *aa* e *bb* non sono rette, ma curve, perchè a misura che s' avanzano si allontanano successivamente dal centro. Ma gli esposti fenomeni non sono esattamente che quelli della diffrazione; possono dunque colla luce diffratta e colla riflessa ottenersi gli stessi fenomeni, essendone riposta la causa ne' sistemi di onde luminose, che intersecandosi producono delle bande oscure o brillanti secondo l'accordo o disaccordo dei loro movimenti.

1185. Per conoscere quale delle due ipotesi sia più probabile bisogna istituire il paragone riguardo alla loro influenza sulla spiegazione de' fenomeni. Le principali obbiezioni che si fanno contro quella delle emissioni, sono le seguenti. 1.^o Non s'intende come le particelle della luce essendo oltremodo tenui possano rice-

vere tanta velocità quanta n'è loro impressa dal sole ; o come essendo piccolissime abbiano poi poli diversi e la stessa celerità, benchè la causa che le produce , e quindi la forza con cui sembra doverle scagliare , sia molto varia. La carta che brucia , il fuoco di una fornace a vento , o la grandiosa massa solare , come mai possono scagliare la luce con eguale celerità ? L' eguaglianza di questa velocità in ogni caso deducesi dalla costante eguaglianza dei fenomeni che la refrazione della luce presenta , qualunque sia il corpo luminoso da cui deriva. 2.^o Non si sa spiegare l'istantanea cessazione della luce nell'atto che si estingue o si rimuove il corpo luminoso. 3.^o Quand'anche non si voglia riguardare la teoria di NEWTON insufficiente a spiegare , perchè dello stesso fascetto di luce che perviene in circostanze precisamente eguali sul limite di due mezzi di diversa densità una parte si rifletta ed un' altra si rifrangga , difficoltà molto valutata da YOUNG ; pure non può negarsi che i fenomeni della diffrazione siano inesplicabili. Nell'ipotesi dell' emissione si ripetono questi dalle forze attraenti e ripellenti , senza por mente che se così fosse , la varia natura chimica , e la diversa densità de' corpi , che producono la diffrazione avrebbero notabile influenza su questi fenomeni , mentre non ne hanno alcuna (§. 1102) (1).

(1) Queste ed altre men gravi obbiezioni contro l'ipotesi dell' emissione sono più ampiamente sviluppate in una memoria di YOUNG intitolata *Experiments, and inquiries respecting sound, and light* , ed inserita nel tomo 90 delle Transazioni filosofiche di Londra ; nel *Supplement à la Chim. de THOMSON* ; e nel *Nuovo trattato di Ottica* del Cav. NOBILI.

1186. Ma se l'ipotesi delle ondulazioni spiega bene i fenomeni della diffrazione, non pochi ve n'ha per essa inesplicabili, che intanto ben si spiegano coll'altra delle emissioni. 1.° L'eguale celerità della luce emessa dai corpi dotati di diversa intensità di lume è inesplicabile tanto nell'ipotesi delle ondulazioni quanto in quella delle emissioni. 2.° Per intendersi nella prima la propagazione di un filo isolato di luce, accordar bisogna, che sebbene le lucide particelle si vibrino in isfera, pure non si renda sensibile che il moto di quelle che sono in direzione del raggio, e siano insensibili le velocità delle altre riguardo a quelle che han luogo in detta direzione. Ma ciò è dimostrato? o si dice piuttosto in qual modo debbasi spiegare il fenomeno nel caso in cui l'ipotesi delle ondulazioni fosse vera? 3.° Riflette Biot, che l'andamento della luce nell'attraversare i mezzi diafani è precisamente quello che sarebbe, se costasse di particelle attraibili da quelle de' mezzi. Osservando separatamente il moto della luce in fluidi o liquidi di diversa natura, e (nella supposizione che non esercitano azione chimica gli uni sugli altri) calcolando il moto della luce nel loro miscuglio secondo le leggi dell'attrazione, corrisponde esattamente il risultato del calcolo all'osservazione. Or se i raggi lucidi non fossero che sistemi di onde, non potrebbero questi comporsi che con leggi sommamente complicate e ben lontane dalla semplicità delle naturali. 4.° Lo stesso FRESNEL acerrimo sostenitore e sagacissimo illustratore dell'ipotesi delle ondulazioni confessa di non essersi con questa spiegati molti fenomeni, come la riflessione della luce dalle superficie metalliche e dai corpi neri, il

passaggio della stessa attraverso i corpi imperfettamente trasparenti, l'assorbimento della luce, la colorazione de' corpi , ec. 5.° La spiegazione della refrazione e riflessione è più ingegnosa che sicura e convincente; nè sono bastantemente spiegate la varia refrangibilità de' colori e la loro separazione dalla luce bianca per la refrazione. Non s'intende infatti come il vetro del prisma imprimer possa all'etere diverse modificazioni da risultarne ondulazioni disugualmente veloci per quanti sono i raggi colorifici , calorifici, e chimici. Ed ammessa nel prisma questa ignota potenza, perchè un raggio elementare che lo attraversa non è modificato in un nuovo spettro solare , come dovrebbe aver luogo se l'ipotesi delle ondulazioni fosse vera? Secondo questa tutti i raggi dovrebbero essere egualmente refratti , onde non vi sarebbe dispersione. 6.° Osservando il celebre MAZUS che un raggio di luce successivamente riflesso da due specchi ad uno stesso angolo d'incidenza , resta semplice o si suddivide secondo le rispettive loro situazioni , il che non può aver luogo, secondo esso, nel sistema delle ondulazioni, conchiude di esser non solo la luce una sostanza soggetta alle forze agenti sugli altri corpi , ma di avere ancora la forma e disposizione delle sue molecole una grande influenza sui fenomeni (1). 7.° Se il principio da cui nell'ipotesi dell'emissione si ripete la polarizzazione della luce è soggetto a notabili difficoltà, ammesso però spiega in generale sufficientemente i fenomeni ; mentre quello che FRESNEL gli sostituisce (§. 1778 e seg.) non è pienamente dimostra-

(1) *Théorie de la double réfraction* , p. 238 e 239.

to, e non rende conto di tutti i fenomeni. Riguardo alla polarizzazione per rotazione Biot avverte che un raggio di luce dotato di proprietà simmetriche a destra e sinistra del suo piano di riflessione perde questa simmetria insinuandosi in un fluido sotto l'incidenza perpendicolare; e che questo cangiamento avviene sempre nello stesso senso in un fluido, ed in senso diverso in diversi fluidi. Or ben si comprende la produzione di questo effetto su particelle lucide dotate di diverse proprietà nelle diverse facce; ma non possono che difficilmente immaginarsi le complicate modificazioni che si esigerebbero nel caso delle ondulazioni. 8.° Con alcuni sperimenti prova WATT che i raggi luminosi del sole e de' corpi infiammati esercitano sugli opachi, specialmente sulle punte e sugli angoli, attrazioni e repulsioni tali, che, se questi corpi sono assai mobili, uscendo dall'oscurità quando cominciano ad esserne percossi riduconsi in certe situazioni che sembrano attratti, ed in altre da sembrar repulsi quando dopo l'assorbimento di molta luce restano a questa esposti. Se questi risultati si verificano non possono che favorire l'ipotesi delle emissioni e contrariar quella delle ondulazioni. 9.° Le proprietà chimiche de' raggi di luce (§. 1014) sono di non lieve peso contro l'ipotesi delle ondulazioni. 10.° I fenomeni della *fosforescenza* sono inesplicabili coll'ipotesi delle ondulazioni. È noto che alcuni corpi, naturali od artificiali, tenuti per qualche tempo esposti all'azione de' raggi solari si mostrano più o meno luminosi per breve o lungo tempo. Questo fenomeno chiamato *fosforescenza* sembra dipendere dalla special natura dei componenti de' corpi, in cui si appalesa. In generale i

fluati e carbonati si rendono facilmente e vivamente fosforescenti, debolmente i solfati ed i fosfati; la calce e la barite favoriscono la fosforescenza; la sottrazione dell'acido, l'ignizione prodotta dalla concentrazione de' raggi solari, l'umidità, ed altre cause, di cui troppo lungo sarebbe l'enumerazione, ne tolgono ai corpi la suscettibilità. I corpi capaci di fosforescenza, se dopo essersi esposti all'azione del sole si lasciano scoperti nell'oscurità sono lucidi per qualche tempo; ma se percossi dalla luce si cuoprano e si fascino con sostanze opache, e si tengano così coperti e fasciati per lungo tempo, quando si scuoprano e si sfasciano si mostrano luminosi come lo sarebbero stati appena alla luce sottratti se non si fossero coperti; e talora un corpo tenuto per pochissimo tempo esposto alla luce si serba fosforescente per molto tempo. Da questi ed altri simili risultati ottenuti da HEINRICH con una serie di decisivi esperimenti, se ne inferisce di non potersi ripetere la fosforescenza dalla vibrazione comunicata al corpo fosforescente dalle vibrazioni della luce solare; potendo i corpi, se così fosse, mostrarsi lucidi appena sottratti alla sola azione della luce, ma non serbare per lungo tempo inattiva la forza di risplendere se fosse questa l'effetto d'una vibrazione; onde conchiude che penetrando la luce ne' corpi introduce ne' loro elementi e vi sostiene un chimico processo, che produce una separazione di luce elementare anteriormente combinata, la sviluppa e la mette in libertà sotto la modificazione di luce visibile (1):

(1) *Bibl. Univers.* t. 15 p. 247.

conchiusione affatto inesplicabile coll' ipotesi delle ondulazioni.

1187. Non bastando intanto il paragone sin' ora sostenuto delle due ipotesi a rilevarne i gradi di probabilità maggiore, non possiamo che conchiudere col celebre HAUY, che la difficoltà di spiegare pochi fatti con quella dell'emissione non può farvi rinunciare potendo questa col progresso della scienza rendere di essi ragione così semplice e facile come la dà di moltissimi altri; che la discussione non cade che sulla causa di questi pochi fenomeni, tutto accadendo come se l'ipotesi fosse vera; talchè in entrambe secondo EULERO sono rappresentati i raggi da rette finchè restano nello stesso mezzo trasparente, e non si riflettono per soffrire una refrazione che quando passano da un mezzo in un'altro (1). Così la linea retta, che caratterizza l'emissione, è ad un tempo l'elemento di tutte le nostre costruzioni geometriche e di tutti i nostri calcoli relativi all'ottica ed alla diottrica, e sembra di aver preso la Fisica la forma della Geometria per accordarsi con essa. Versandoci quindi in tale argomento siamo talmente avvezzi a pensare cioèchè l'occhio stesso sembra direi all'aspetto dei corpi luminosi, di tramandarci cioè essi direttamente de' raggi dalla loro sostanza, che sarebbero necessarie delle prove tanto numerose quanto evidenti per obbligarci a sostituire nella nostra idea ai loro moti rettilinei le onde di una materia sottile scossa dalle agitazioni dei medesimi corpi.

(1) *Lettres à une Princesse d'Allemagne*, tom. 1. p. 137.

LIBRO DECIMO

DELLA ELETTRICITA' STATICA.

CAPITOLO I.

DELLA MACCHINA ELETTRICA E DELLE IPOTESI ADDOTTE
PER SPIEGARE I FENOMENI ELETTRICI.

1188. Oltre le proprietà costanti della materia, vi sono nei differenti corpi delle proprietà particolari dipendenti dal loro stato, e delle cause produttrici de' fenomeni del movimento. Fra le più comuni di esse si annoverano l'attrazione ed il calorico, agendo esse incessantemente sulla materia per produrre il maggior numero de' movimenti che in essa osservansi. Ve ne sono però moltissimi altri che lungi dal potersi ripetere dalle cennate due cause, sono con esse incompatibili. I più notabili sono l'attrazione e la ripulsione esercitata in certe circostanze da un pezzo d'ambra, da un tubo di vetro, o da un bastone di ceraleaca verso i corpi leggeri che gli avvicinano.

1189. Questa proprietà di alcuni corpi di attrarre o respingere, quando sono strofinati, le pagliuzze, i pezzetti di carta ed altri corpi leggeri; di eccitare un venticello capace di produrre sulla mano un certo vellicamento, come quello che vi si produrrebbe da una tela di ragno che leggermente strisciasse su di essa; e di emettere scintille e fiocchi luminosi, dicesi *elettricità* da *electron*, greco nome dell' ambra gialla, in cui

furono dapprima tali effetti riconosciuti. Benchè ignota sia la causa di questi fenomeni, che *segni elettrici* addimandansi, pur nondimeno supponendosi la si distingue col nome di *fluido elettrico*. Può questo eccitarsi e mettersi in azione non solo collo strofinio, ma anche per contatto, per compressione, per istracciamento, per mezzo del calorico, colle chimiche azioni, colla capillarità ed in molte altre guise; talchè ad ogni momento agisce e si manifesta un tale fluido sulla terra e nella atmosfera, sia che i corpi si tocchino, sia che si sciolgano e si compongano, o cangino stato, luogo e temperatura. Molto dunque contribuisce alla retta spiegazione de' fenomeni naturali la cognizione de' modi con cui questo fluido suole agire, intervenendo esso in tutte le operazioni della natura.

1190. Per procurarsi i Fisici a volontà gli elettrici fenomeni han congegnato la *macchina elettrica*. Costa questa d'un disco di cristallo AA (Tav. 17 fig. 1) stabilmente attraversato nel centro da un asse metallico portante il manubrio C. Quattro cuscini bislungi di cuojo (1), siti gli uni incontro gli altri, stringono tra essi e confricano le opposte facce del disco rotante. Corrispondono a questo due tubi metallici ben tersi BB, congiunti in uno dalla traversa metallica D. Questi tubi costituenti il così detto *conduttore* della macchina sono armati negli estremi di punte metalliche al disco corrispondenti, e sorretti sono da colonne di cristallo a, a, a, a inverniciate di gomma lacca, tanto più all'uopo

(1) Son' essi ripieni di crini, e per aumentarne l'efficacia si spalmano di un' amalgama di ziuco e mercurio.

atte quanto più lunghe sono e sottili. Or girando la manovella C ruota il disco strofinato da' cuscini , e si eccita con tale strofinio l'elettricità che per mezzo delle punte passa dal vetro nei conduttori BB, che se ne *caricano*, onde accostandovisi in qualunque punto la giuntura del dito , all'istante il fluido elettrico si slancia , e la macchina se ne *scarica*.

1191. È dunque chiaro che il fluido elettrico liberamente , va , viene , e scorre sul conduttore metallico , e non si comunica ai corpi circostanti stando su di questo, benchè in contatto sia esso dell'aria e delle colonnette di vetro che lo sostengono; ma se queste o quella sono umide , o il conduttore comunica col suolo mediante una catena metallica , il fluido elettrico non più resta accumulato sul conduttore e sembra che la macchina non se ne carichi. Risulta da queste osservazioni di non ben condursi il fluido elettrico dall'aria secca e dal vetro asciutto, d'impedirsene anzi e ritardarsene il cammino , ed offrirsegli all'opposto dal metallo e dall'umido pronto ed istantaneo passaggio. Quindi la distinzione de' corpi in *conduttori* e *non conduttori* del fluido elettrico. Sono della prima specie i metalli , i carboni, gli animali , i vegetabili , le acque e tutti i corpi umidi ; appartengono alla seconda il vetro e tutte le sostanze vetrificate , l'ambra , la ceralacca, le resine, lo zolfo , il diamante, il cristallo di rocca, molti sali asciutti , i peli degli animali , i capelli , la seta , le piume , i legni secchi, e specialmente i duri e resinosi, la carta asciutta , il cotone , gli ossidi metallici , il marmo ed altre pietre.

1192. Diconsi ancora i conduttori *corpi deferenti* ,

analettrici, od *elettrici per comunicazione*, caricando sì più facilmente dell' altrui che della propria elettricità. Per l' ostacolo che oppongono i non conduttori alla diffusione dell' elettricità chiamansi anche *corpi coibenti*, e per la proprietà che hanno di caricarsi molto più facilmente dell' elettricità propria che della comunicata, *idioelettrici* denominansi, od *elettrici per se*. Ma rigorosamente parlando non vi sono corpi assolutamente coibenti, poichè la gommalacca che più d'ogni altra sostanza al passaggio si oppone del fluido elettrico, quando è assottigliata si lascia da questo penetrare. Perciò l' elettricità scorrendo a poco a poco dal conduttore della macchina lungo i sostegni di vetro, attraversa l' aria, e così manca e si dissipa.

1193. Il libero passaggio che i corpi deferenti presentano all' elettricità non la fa accumulare su di essi se un ostacolo non si oppone alla sua diffusione. Ad elettrizzar dunque un corpo deferente bisogna circondarlo esattamente di corpi coibenti, ossia *isolarlo*. I corpi coibenti mettendo il fluido elettrico fuori di comunicazione chiamansi anche *corpi isolanti*, ed un corpo da essi circondato diccsi *isolato*. Perciò il conduttore della macchina elettrica è isolato con sostegni di vetro, e di qui ancora l' uso dello *sgabello isolatore*, ossia di un comune sgabello con piedi di vetro (Tav. 17 fig. 2), poichè una persona ivi collocata mediante una catena metallica riceve elettricità, e non comunicandola al suolo è nello stesso stato elettrico del conduttore caricato.

1194. Isolandosi la macchina e con essa la persona che la mette in azione, quando l' aria è secca, il conduttore dà segni elettrici, che a poco a poco scemano sino

a mancare del tutto a misura che la macchina si scarica. Pruova questo sperimento che il fluido elettrico, che sul conduttore si aduna, non viene tutto dal vetro e dalla macchina, ma in gran parte dalla terra. Impedita infatti la comunicazione tra l'una e l'altra, lo svolgimento del fluido elettrico affatto manca. Così lo strofinio eccita sul vetro il fluido elettrico; e come questo passa nel conduttore, è per lo stesso strofinio attratto dai corpi circostanti e dalla terra. Perciò si appende ai cuscini una catena metallica comunicante col suolo, facilitandosi così il corso al fluido elettrico dalla terra, che se ne crede il serbatoio, alla macchina ed ai cuscini.

4495. Ciocchè intanto è più notevole è che i due corpi strofinante e strofinatore, i cuscini cioè ed il disco, passano entrambi ad uno stato elettrico diverso. Isolandosi infatti i cuscini della macchina, ed avvicinandosi al conduttore elettrizzato un globetto di midollo di sambuco sospeso all'estremità di un filo di seta, è quello dapprima attratto dal conduttore, indi respinto; accostandosi poi ai cuscini è da questi attratto; insomma un corpo leggiero qualunque respinto dal conduttore è attratto dai cuscini ed al contrario. Tutti i corpi dunque, compresi i metalli, passano collo strofinio allo stato elettrico, e gli strofinanti e gli strofinati danno segni di opposta elettricità. Questo diverso stato elettrico è stato la prima volta avvertito da DUFAY anche nel vetro liscio e nelle resine. Avvicinandosi in fatti al vetro strofinato un globetto di midollo di sambuco sospeso ad un filo di seta, è dapprima attratto e poi respinto dal vetro; e se il globetto quando è respinto dal vetro si avvicina alla ceralacca strofinata n'è tosto attratto; mentre all'opposto

un globetto respinto dalla ceralacca è tosto attratto dal vetro. La ceralacca dunque ed il vetro acquistano collo strofinio elettricità opposte, attraendo l'una i corpicciuoli dall'altra respinti. Ammessa intanto questa distinzione da tutti i Fisici, non si è generalmente convenuto del nome e della natura delle due elettricità. Le credono alcuni effetti di due diverse sostanze, altri modificazioni diverse di una medesima sostanza. Osservando i primi che la differenza si manifesta specialmente nel vetro e nelle resine, chiamano l'una *elettricità vitrea*, *elettricità resinosa* l'altra. Questa denominazione però non sembra troppo esatta: poichè un corpo strofinato da sostanze diverse acquista or l'una, or l'altra elettricità; ed una sostanza strofinante corpi diversi è ora in uno, or in altro stato elettrico. Il vetro che strofinato da un panno di lana mostra l'elettricità vitrea, strofinato dalla pelle di gatto mostra la resinosa. La seta che strofinata colla carta acquista l'elettricità resinosa, prende strofinata colla gomma lacca la vitrea. Strofinandosi inoltre un vetro liscio con uno scabroso, mostrano questo elettricità resinosa e quello vitrea. Varia dunque per molte circostanze la specie di elettricità che un corpo acquista collo strofinio. Supponendo quindi altri Fisici di prodursi l'elettricità del vetro liscio dall'eccesso, e quella delle resine dal difetto di quella quantità di fluido elettrico che dovrebbe ne' corpi esistere per non dar questi segni elettrici; han detto la prima *positiva*, *negativa* la seconda.

1196. Scindonsi perciò le scuole in due ipotesi per la spiegazione de' fenomeni elettrici. La prima ipotesi, quella cioè degli *unitarii* che dee la sua origine a FRAN-

KLIN e la sua perfezione a VOLTA, è quasi generalmente seguita in Italia ed Inghilterra. La seconda, quella cioè de' *dualisti*, immaginata da SYMMER, è sostenuta generalmente in Francia.

4197. Secondo l'ipotesi Frankliniana è l'elettricismo un fluido imponderabile, sommamente mobile ed elastico, in tutti i corpi diffuso, ma specialmente raccolto nella terra. Per l'attrazione di questo fluido colla materia in generale ne ha ogni corpo una quantità proporzionale alla sua capacità di contenerlo. Quando i corpi ne ritengono in questa ragione diconsi esser nello *stato naturale* ed il fluido in *equilibrio*. Questa saturazione de' corpi nello stato naturale non è assoluta, avendo anche in tal caso qualche attrazione pel fluido elettrico; ma per essere questa comune a tutti i corpi ed egualmente in essa energica, non eccita nel fluido alcun moto, nè produce alcun fenomeno elettrico. Per eccitarsi l'elettricità, alterar bisogna la quantità o densità dell'elettricismo naturalmente ne' corpi equilibrato; quantità che non si sbilancia e non varia che coll'energia dell'attrazione. La confricazione dunque di un corpo con un altro alterando temporaneamente colla posizione delle loro parti, l'attrazione di entrambi pel fluido elettrico, deve questo dal corpo che meno l'attrae accorrere in quello che l'attrae dippiù. Varia così nell'uno e nell'altro la quantità del fluido secondo la loro natura ed il modo con cui sono confricati. Ritornate poi le parti attraenti nella loro naturale posizione, e ripristinata quindi l'attrazione, ambi i corpi per l'alterazione della quantità del loro fluido si mostrano elettrizzati; quello che ne ha ricevuto si trova *elettrizzato in più o positivamente*, e quello che ne

ha somministrato resta *elettrizzato in meno* o *negativamente*. L'elettricità positiva è dunque l'effetto di un aumento, e la negativa di un decremento nella quantità necessaria a saturare l'attrazione attuale nel corpo che si elettrizza.

4198. S'intende così come la confricazione ecciti l'elettricità, come de' due corpi confricantisi si elettrizzi l'uno sempre diversamente dall'altro, e come lo stesso corpo si elettrizzi in più od in meno secondocchè può ricevere o dare elettricità al corpo con cui si stropiccia (§. 4195). S'intende ancora come il calore, i processi produttori de' fluidi elastici, la pressione, cagionando una temporanea alterazione nella naturale disposizione delle parti de' corpi, e quindi una temporanea variazione nella loro attrazione pel fluido elettrico, siano al pari della confricazione mezzi di elettrizzamento.

4199. Sia intanto eccitato un corpo all'elettrizzamento positivo o negativo: esistendo un'attrazione tra ogni molecola della materia ed ogni particella del fluido elettrico, debb'esser questo attratto con tanta maggior energia per quanta maggiore sarà la quantità della materia attracente, e minore quella del fluido attraibile. Crescendo quindi il rapporto del fluido alla materia, resta l'attrazione come soprassaturata ed è più debole; mentre l'opposto avviene aumentandosi il rapporto della materia col fluido. Quando perciò un corpo si elettrizza positivamente, le sue parti debbono attrarre il fluido con energia minore di quella con cui l'attraevano nello stato naturale, ed al contrario elettrizzandosi negativamente, aumentar deve l'energia dell'attrazione pel fluido per la diminuita quantità di questo al corpo compe-

tente. Or crescendo or scemando l'energia dell'attrazione che tiene il fluido fisso ne'corpi, scema o cresce in corrispondenza l'elettricità che tende ad equabilmente diffonderlo. Ne'corpi dunque positivamente elettrici è il fluido più elastico e meno attratto; e ne'corpi negativamente elettrici è meno elastico e più attratto, sempre in ragione dell'intensità dell'elettrizzazione. Intanto l'*elasticità del fluido elettrico* non è che la sua tendenza a diffondersi per ridarsi all'equilibrio od all'eguale densità. Lo sforzo poi, con cui il fluido elettrico accumulato tende a diffondersi per rendersi ne'corpi circostanti egualmente denso ed attratto, dicesi *tensione positiva*; mentre la *negativa* non è che lo sforzo con cui un corpo privo dell'elettricismo, che naturalmente gli compete, tende ad assorbirlo dai circonvicini.

4200. Spiegano con questi principii i Frankliniani tutti i fenomeni elettrici. Nella carica della macchina elettrica passa il fluido per lo strofinio dai cuscini al vetro, e da questo al conduttore, ove trovandosi in più tende ad equilibrarsi. La terra poi somministra il fluido alla macchina e questa ai cuscini che lo comunicano al vetro. Così si forma dal fluido elettrico un circuito. Restando per lo strofinio il fluido elettrico in più sul vetro ed in meno sui cuscini, corre dal vetro al conduttore, e dalla terra ai cuscini per equilibrarsi.

4201. Suppone SYMMER al contrario composto l'elettricismo di due fluidi diversi, che neutralizzandosi nella unione non mostrano alcuna loro proprietà. È sparso questo fluido in ogni corpo, e n'è la terra il serbatoio universale; ma finchè i suoi componenti restano uniti, ossia finchè è nello stato di *combinata elettricità*, è

nello stato naturale , al pari de' corpi che lo contengono , onde non danno questi alcun segno elettrico. Non avvengono i segni elettrici che nello svilupparsi o separarsi dei componenti dell' elettricismo , e per l' accumulamento di uno di questi componenti. Il fluido componente che produce accumulandosi i fenomeni detti da FRANKLIN di elettricità positiva , dicesi *fluido vitreo*, e *resinoso* quello che produce i fenomeni attribuiti all' elettricità negativa. La confricazione, il calore, la pressione, il mutuo contatto. . . . obbligano un fluido a separarsi dall' altro. Separati , le parti dell' uno spiegano una fortissima attrazione per quelle dell' altro, ed una non men forte ripulsione tra esse.

1202. Con questi principii rendono ragione i Symmeriani de' varii fenomeni elettrici. Per la carica della macchina elettrica la combinata elettricità de' cuscini si scompone collo istrofinio, ed il vetro attira la vitrea che manda al conduttore. Ma il fluido resinoso rimasto sui cuscini attrae il fluido vitreo dell' elettricità combinata , ch'è nelle parti della macchina e si combina di nuovo. Avviene quindi ad ogni istante una nuova scomposizione, e si carica la macchina adunandosi il fluido vitreo sul conduttore.

1203. I fenomeni elettrici intanto saranno da noi spiegati coll'ipotesi di FRANKLIN, che per la sua semplicità è di più facile intelligenza, riserbandoci poi di darne conto con quella di SYMMER, e di rilevare i gradi di probabilità di entrambe.

CAPITLO II.

DELL' ATMOSFERA ELETTRICA E DELLA SUA INFLUENZA;
DELL' ELETTROFORO E DEL CONDENSATORE.

1204. Accumulata in un corpo l' elettricità sino a al punto di produrre una sensibile tensione, si sente sulla mano una lieve villicazione, avvicinandola al corpo elettrizzato. Questa villicazione, detta *aura elettrica*, sentesi ad una maggiore o minor distanza secondo la maggiore o minor tensione. Un suffumigio di resina sollevato nello spazio, in cui questa villicazione prodacesi, vi si arresta; ed i corpicciuoli che vi s' immergono sono immediatamente attratti. Si è quindi dedotto che il fluido elettrico formi intorno ai corpi elettrizzati un' *atmosfera elettrica*, o *sfera di attività*, in cui entrando altri corpi ne sentono l' azione o l' *influenza elettrica* senza perder essi alcuna parte dell' elettricità. Quest' azione che esercita l' elettricità libera di elettrizzare a distanza i corpi nello stato naturale, dicesi propriamente *induzione elettrica*.

1205. A meglio conoscere gli effetti delle atmosfere elettriche, si accosti a poco a poco al conduttore elettrizzato B (Tav. 17 fig. 3) l' altro piccolo conduttore A isolato da una colonnetta di cristallo, e dotato nell' estremità opposta *a* di due palline di midolla di sambuco sospese a due fili di lino. Portato il conduttore A ad una certa distanza da B, le due palline si allontanano, o come dicesi si repellono. Ritirato il conduttore A, all' istante chiudonsi i pendolini, rimettendosi nella dire-

zione verticale. Ciò prova ad evidenza che il fluido elettrico costituente la sfera di attività del corpo *attuante* B agisce ad una certa distanza su di A, ch'è nello stato naturale, *attuandolo* ad elettricità omologa, poichè respingendosi i pendolini si mostrano elettrici; e poichè chiudonsi allontanandosi da A, ne seguì di non essersi loro comunicata, nè al conduttore alcuna dose d' elettricismo, rimettendosi nel loro stato naturale. Questa *elettricità attuata*, od *indotta* che si manifesta senza trasfusione e sussiste sino a che il conduttore A resta nella sfera di attività di B *realmente elettrizzato*, fu detta da VOLTA *elettricità accidentale* od anche di *pressione*. Dunque *attuare* od *indurre*, non significa che eccitare l' elettricità accidentale; e l' *elettricità attuata*, od *indotta*, non è che l' elettricità accidentale eccitata da un corpo vicino senza alcuna trasfusione.

1206. Se il conduttore della macchina B (Tav. 17 fig. 3) invece di esser carico di elettricità positiva lo fosse della negativa, accaderebbero precisamente gli stessi fenomeni; ma i pendolini *a* sarebbero investiti dell' elettricità negativa; onde conchiudesi che i corpi immersi nell' atmosfera elettrica prendono nelle estremità più prossime al corpo attuante contraria elettricità, e nelle più lontane l' omologa. A conoscere la specie d' elettricità di cui sono dotati i pendolini, si avvicina loro il vetro o la ceralacca strofinati; poichè se pel vetro si allontanano di più è segno, che la loro elettricità è omologa, ossia positiva; e se chiudonsi è segno ch' è negativa; se poi per la resina i pendoli rendonsi più divergenti, la loro elettricità è negativa, e se chiudonsi è positiva.

1207. Se il conduttore A alquanto lungo (Tav. 17 fig. 3) ha in diversi punti di sua lunghezza delle coppie di pendolini di midolla di sambuco, ed entra per un estremo nell'atmosfera del conduttore B, elettrico, per esempio, positivamente; la divergenza de' pendolini di ambe le estremità giungerà al massimo grado, mentre quella del centro diverrà sempre più debole, talechè vi è un punto in cui niun segno scorgesi di ripulsione. Formasi quindi prima una serie decrescente nella divergenza dei pendolini, giunge indi allo zero, ad un punto cioè, in cui essi non si muovono, e da questo punto poi comincia una serie crescente di pendolini che sempre più si aprono. Essendo il corpo attuante B elettrico positivo, i pendolini dell'estremità più vicina di A balzano per elettricità negativa e quelli della più lontana per elettricità positiva. Poichè dunque i pendolini nella prima serie si aprono gradatamente di meno, concluder devesi che la tensione dell'elettricità negativa successivamente decresce, giunge al punto zero, in cui vi è stato naturale, e da questo punto cresce nella seconda serie l'elettricità positiva, giungendo al massimo nella più lontana estremità di A. I corpi quindi immersi nelle atmosfere elettriche passano per gradi dall'elettricità contraria all'omologa, e dal *maximum* di quella al *maximum* di questa.

1208. Se elettrizzato il conduttore A (Tav. 17 fig. 3) per mezzo di B, se gli avvicini l'estremo di un'altro piccolo conduttore anche isolato e nello stato naturale; accostandosi questo ad A dalla parte dei pendolini *a*, li farà balzare di più, ed avvicinandosi all'altro estremo nudo, farà diverger meno e chiuder talora i pendo-

lini. Prova un tale esperimento che il conduttore elettrizzato non solo agisce per influenza sull'altro nello stato naturale, ma anche questo su quello. Rignardando il conduttore nello stato naturale or l'uno or l'altro estremo del conduttore elettrizzato, attira verso entrambi l'elettricità. Attirandola nell'estremo nudo, i pendolini sensibili alla maggiore o minore diminuzione dell'elettricità divergono meno e giungono anche a chiudersi. Attraendola poi verso l'estremo guernito di pendolini, questi che ne avvertono l'aumento divergono di più. Onde conchiudesi che i corpi immersi nelle atmosfere elettriche reagiscono sul corpo elettrizzato sentendone l'influenza.

1209. È dunque chiaro che l'influenza non ha luogo che all'aria secca, non conduttrice, in cui il raggio di attività può esser notabile; ma se il mezzo posto tra il corpo elettrizzato e quello nello stato naturale è denso e molto compatto, come il vetro e la resina, la sfera di attività si estende a piccola distanza. Per osservare quindi gli effetti dell'influenza elettrica attraverso del vetro o della resina, debbono esser questi molto sottili.

1210. Se dietro e presso al conduttore B (Tav. 17 fig. 4) in istato naturale siavi una serie di conduttori isolati C, D, l'un dall'altro separati a brevissimi intervalli; avvicinandosi a B il conduttore elettrizzato A, balenerà una scintilla tra B e la serie in ogni intervallo; B ed i primi conduttori resteranno attnati a diversa elettricità, e gli ultimi ad elettricità omologa a quella di A. Ritirato poi il conduttore attuante A, baleneranno di nuovo le scintille e perderanno i conduttori ogni elet-

tricità. Or considerandosi un conduttore di notabile lunghezza, come per esempio un cilindro metallico, come il complesso di un maggiore o minor numero di strati tra loro uniti; può dedursi dal precedente esperimento, che questo conduttore introdotto per un estremo nell'atmosfera di un corpo elettrizzato sarà in questo estremo attoato a diversa elettricità, e nell'altro ad omologia a quella dell'attuante.

1211. Se immersi i tre conduttori B, C, D, (Tav. 17 fig. 4) nella sfera di attività del conduttore della macchina A, si ritiri prima il medio C, e poi si scarichi la macchina; i pendolini di C e di D resteranno aperti, benchè mancata l'influenza elettrica. Ciò prova di poter un corpo restare elettrico benchè uscito dall'atmosfera elettrica e mancata sia l'influenza. Perdendo infatti per effetto di questa i conduttori lo stato naturale, col mancar di essa lo riprendono; ma se venuta meno l'influenza non si può tra questi spargere l'elettricità in modo da mettersi nello stato naturale, restano allora elettrici; ed avviene precisamente ciò quando ritirato il conduttore C restano tutti tre isolati, e la loro elettricità non puole più diffondersi tra essi equabilmente e riprendere l'equilibrio.

1212. Or questi e tutti gli altri fenomeni delle atmosfere elettriche facilmente si spiegano colla ipotesi di FRANKLIN. Accumulato il fluido elettrico sul conduttore della macchina esercita una forza di pressione e respinge il fluido elettrico naturale dal conduttore A (Tav. 17 fig. 3) o dai tre conduttori B, C, D, (Tav. 17 fig. 4) cacciandolo nell'estremo lontano. Le parti quindi più vicine del primo conduttore o dei secondi condut-

tori prendono una contraria elettricità ossia per difetto, e le più lontane l'omologa, o per eccesso. L' opposto accade quando l'elettricità del conduttore è negativa, tutta l'elettricità delle parti lontane dell'uno o dei tre piccoli conduttori corre verso l'estremo vicino per equilibrare l'elettricità in meno del conduttore della macchina. Le parti vicine dei piccoli conduttori hanno quindi l'elettricità in più e le lontane in meno.

1213. Facilmente dunque s'intende, perchè avvicinandosi il vetro e la ceralacca strofinati ai pendolini aperti (§. 1206) riconoscer si possa la specie di loro elettricità. I due corpi strofinati producono colla loro influenza elettricità contraria nel filo di lino, da cui pendono i globettini, ed in questi, come più lontani, l'omologa. Si rinforza però la loro elettricità se è positiva, e colla ceralacca s'ingagliardisce se è negativa; ed in ambi i casi i pendolini divergono di più. Ma se balzan questi per elettricità negativa, all'avvicinarsi del vetro strofinato l'acquistano positiva; e quella con questa in tutto od in parte bilanciandosi, balzan di meno i pendolini oppur si chiudono. Avviene lo stesso colla ceralacca se l'elettricità de' pendolini è positiva.

1214. S'intende ancora perchè due corpi, elettrico l'uno, e l'altro nello stato naturale, agiscano scambievolmente (§. 1208). Le due opposte elettricità considerate nell'estremo del corpo influente e del corpo influito, attraendosi agiscono scambievolmente tra esse.

1215. Si comprende del pari perchè trovandosi l'elettricità naturale de' corpi immersi nelle atmosfere elettriche fuori di equilibrio, cioè scarsa in una parte ed abbondante nell'altra, debbano essi restare elettrici,

se, terminata l'influenza, non si può in qualunque modo rimettere in essi l'equilibrio del naturale loro fluido.

4216. S'intende in fine di leggieri, che propagandosi l'influenza attraverso dell'aria, o di altri corpi non conduttori, debban del pari questi e quella sentire l'attività di tale influenza. Che anzi i recenti esperimenti dell'illustre FARADAY provano che agli effetti della induzione concorre a prender parte essenziale ed attiva il coibente o dielettrico intermedio, che divide il corpo che subisce l'induzione da quello che la produce; talchè frapponendo tra l'uno e l'altro ora un disco di zolfo, ora di vetro, ed ora di resina tosto appariscono differenze notevoli nelle elettriche tensioni, proprietà che egli chiama *capacità specifica induttiva dei corpi*. Questo fatto, e l'altro dallo stesso fisico osservato e studiato, che l'elettrica induzione si opera anche in direzione curvilinea a traverso i corpi capaci di trasmetterla, lo autorizzano a supporre, che l'azione induttiva non operi altrimenti nella semplice ragione della distanza, ma trasmettessi mercè di un certo molecolare polarizzamento della sostanza dielettrica, capace di tale trasmissione.

4217. Soprapponendo un cartone dorato alla superficie della resina elettrizzata, mentre è desso in contatto di questa manifesta nella faccia superiore elettricità negativa, ma separandosi riprende lo stato naturale. Ciò prova chiaro che l'elettricità negativa della resina non si è comunicata al cartone, e che questo non dà nel contatto segni elettrici che per influenza. Onde i corpi naturalmente coibenti, ritenendo inceppato il fluido elettrico tra le loro molecole, possono agire per influenza non solo in distanza, ma anche in contatto.

1218. I fatti finora esposti della induzione menano all'esame di un altro fatto di non minore interesse. I due dischi isolati P, N (Tav. 23. fig. 8), e muniti di elettrometri, si elettrizzano allo stesso grado positivamente, e quindi l'uno all'altro si avvicinano; si osserverà che la divergenza dei pendolini elettroscopici, segno della tensione elettrica dei due dischi, aumenta a misura che la distanza diminuisce, benchè siavi l'interposizione della lamina di vetro V. Elettrizzato all'opposto il disco P positivamente, ed N negativamente, ma in eguale quantità, ed avvicinati come nel caso precedente; la divergenza dei pendolini diminuisce quanto più si avvicinano, il che mostra che la tensione delle opposte elettricità, di cui essi sono carichi, decresce in proporzione. Non è credibile intanto che siavi stata scarica e neutralizzazione, poichè allontanando di nuovo i due dischi, i corrispondenti elettroscopii indicheranno colla loro divergenza lo stesso grado di tensione che prima avevano. Questo fatto prova che le due opposte elettricità sonosi *raccolte e condensate* nelle parti più vicine dei due dischi metallici, e qualora si voglia mettere a calcolo l'influenza che ciascuno di essi deve esercitare sull'altro, come se in questo non si contenesse elettricità, s' intende di leggieri che le cariche elettriche contrarie debbonsi accrescere nelle parti più vicine dei due dischi, e debbono all'opposto diminuire nelle parti più lontane. Essendosi poi per questa condensazione scemati i segni della tensione dei due dischi in proporzione della diminuita distanza, si può toccare separatamente or l'uno or l'altro disco nei punti in cui la tensione è cessata, senza eccitarvi scintilla e perturbarne quindi lo stato

elettrico. Se per effetto inoltre di questa condensazione prodotta dal vicendevole ravvicinamento dei due dischi, ciascuno di essi mostra una tensione minore della effettiva quantità di elettricismo di cui è caricato, è ben naturale che debbasi aggiunger nuova elettricità perchè la tensione torni allo stato primiero. Elettrizzando quindi or positivamente l'uno, or negativamente l'altro disco si possono cumolare delle forti cariche elettriche contrarie nelle superficie vicine dei due dischi; le quali condensate e ritenute dalla reciproca loro attrazione, possono crescere finchè lo strato coibente interposto può resistere alla loro attrazione ed impedire così la scarica. Queste due cariche contrarie perchè ritenute e mascherate dalla loro vicendevole attrazione, diconsi *dissimulate* o *latenti*; se si toccano infatti separatamente i dischi o si mettono separatamente in comunicazione col suolo, essi non perdono elettricità; ma si può a ciascuno di essi contemporaneamente aggiungere nuova dose di elettricismo simile a quello che vi esiste. Che se poi vuolsi far sparire le due cariche elettriche si debbono mettere in relazione i due piatti mediante un arco scaricatore, o metterli in contatto, poichè in tal modo i due opposti stati elettrici si neutralizzano e tutto si rimette nello stato naturale. Non avvenendo questa neutralizzazione che nel contatto, la dissimulazione delle opposte elettricità non può essere mai completa; nelle facce opposte dei due dischi trovasi sempre infatti qualche traccia di tensione, come si osserva esplorandole con un piano di prova. Se dunque la dissimulazione è tanto più perfetta, quanto è minore la distanza dei due piatti, e quindi più piccola la spessezza dello strato

coibente interposto, ne risulta che le quantità di elettricismo che possono cumularsi per dissimulazione possono essere tanto maggiori quanto è minore la distanza o la grossezza dello strato coibente. Se non che al diminuire di questa grossezza diminuisce del pari la resistenza opposta alla neutralizzazione degli opposti stati elettrici dissimulati nei punti più vicini dei due dischi. L'ultima conseguenza che può trarsi dagli esposti principii è il modo lento con cui annullar si possono le cariche elettriche dissimulate. Mettendo infatti successivamente in comunicazione col suolo or l'uno or l'altro dei dischi, in ogni contatto si porta via la porzione libera di elettricità che esiste su ciascuno di essi, e si annulla in conseguenza una parte della forza attrattiva esercitata sull'elettricità contraria del disco opposto; onde quella porzione di elettrico di questo che per tal ragione diviene libera, si manifesta dall'elettroscopio.

1219. Le cariche dissimulate produconsi ancora mettendo il disco P, (Tav. 23 fig. 8) in comunicazione col conduttore della macchina, e l'altro N, in comunicazione col suolo; poichè a misura che il primo si carica di elettricità positiva, agisce questo per influenza sull'elettricità naturale del disco N, e mentre attrae e dissimula l'elettricità negativa, trasfonde al suolo la positiva che a questo compete. Ed accrescendo la dissimulazione la capacità dei due dischi (§. 1218) si può cumulare nel piatto P, una dose crescente di elettricità positiva, la quale attuerà una proporzionata elettricità negativa nell'opposto disco N, purchè questo si conservi costantemente in comunicazione col suolo, onde

permettere che si scarichi di una proporzionata dose di elettricità positiva, senza la qual condizione questa carica non potrebbe aver luogo : carica che, come si è detto, ha per limite la resistenza che può opporre la lamina del coibente V, alle attrazioni degli opposti stati elettrici.

4220. Furono questi principii che fecero inventare dal VOLTA l'ingegnoso apparato chiamato *elettroforo perpetuo*, conservando per lunghissimo tempo l'elettricità una volta impressagli. Costa questa macchina di due pezzi : è il primo un *piatto* di ottone AB (Tav. 47 fig. 5) lavorato al torno, d'orlo ben arrotondito, e racchiudente una stacciata piana composta di tre parti di trementina, due di rafia ed una di cera, bollite insieme per più ore, con un poco di minio per avvivarne il colore. È il secondo pezzo uno *scudo* CD di legno dorato o di ottone ben forbita e senza angoli, e fornito del manico E di cristallo. Il suo diametro è minore di quello del piatto o disco coibente. Eccitata l'elettricità sulla resina collo strofinio di una pelle di gatto, si mette lo scudo sulla stacciata nel modo indicato dalla figura, ed i pendolini F sospesi all'estremo della piccola verga metallica sporgente dalla faccia superiore dello scudo balzano per elettricità negativa; alzandosi però lo scudo per mezzo del manico E si chiudono. Se, tolta la verga che porta i pendolini, si lascia lo scudo in contatto della stacciata, e poi se ne tocca la superficie superiore col pollice della destra, mentre l'indice tocca il piatto; alzandosi indi lo scudo pel manico E, ed avvicinandosi all'orlo la nocca del dito, si tira all'istante una scintilla. Se, posto di nuovo lo scudo

sulla stacciata si tocchi ancora nel modo indicato e si alzi di bel nuovo, si avrà toccandolo un' altra scintilla. Quante volte dunque si ripeterà questa operazione , si produrranno gli stessi effetti ; consistendo il gran pregio dell' elettroforo nella proprietà di conservare per lunghissimo tempo l'elettricità una volta comunicatagli, e di darne i segni con una energia proporzionale alla sua carica , per quanto l' aria possa esser umida , purchè si ascinghi e si riscaldi lo scudo. Gli elettrofori di notabile diametro serbano l' elettricità per molti mesi.

1221. È facile il render conto dell' azione di questo istrumento. Restando l'elettricità tenacemente attaccata alla superficie della stacciata resinosa , lo scudo su di essa posto è immerso in un' atmosfera negativa , onde prende per influenza elettricità positiva al di sotto e negativa al di sopra: ond' è che in contatto della stacciata dà segni di elettricità negativa , e distaccandosene riprende lo stato naturale. Essendo quindi la superficie superiore del disco nello stato elettrico negativo, tende a rimettersi nello stato naturale ; e questa tendenza è soddisfatta qualora comunica il disco col piatto o col suolo , toccandosi col dito ; la superficie superiore si mette nello stato naturale , mentre lo scudo è fornito al di sotto di elettricità positiva , ivi ritenuta dissimulata dalla influenza della resina; onde alzandosi lo scudo si trova nello stato positivo , ed emette quindi la scintilla.

1222. Dietro questo principio immaginò VOLTA la macchinetta chiamata *condensatore* , perchè atta a condensare e render sensibile le piccolissime e quasi impercettibili dosi di elettricità. Un disco metallico A

(Tav. 17 fig. 6) di circa 8 pollici di diametro , che ha fisso nel centro della sua superficie superiore il manubrio di cristallo C, si sovrappone coll' altra sua superficie , al più possibile pulita e levigata , ad un corrispondente piano B di marmo di Carrara ben asciutto e verniciato , o coperto di un sottilissimo incerato di seta. Al disco metallico A, detto *piatto collettore*, è attaccato il filo metallico AD , alquanto arcuato e terminato in un globetto D. Per mezzo di questo filo il corpo , di cui vuolsi conoscere la tenuissima elettricità , comunica col piatto collettore , il quale appena assorbita ne dà segni sufficienti quando lo si solleva col manubrio parallelamente al piauo , per quanto sia essa tenue (1).

1223. La ragione della costruzione di questa macchina e del suo effetto , è ben chiara , essendo al pari dell' elettroforo fondata sull'influenza elettrica. La poca deferenza del piano B (Tav. 17 fig. 6) e la vernice o l'incerato che lo ricopre gli fanno sommamente accostare il piatto collettore senza comunicarglisi da questo l' elettricità che raccoglie ; ossia dapprima si reca l' elettricità alla superficie inferiore del piatto collettore A, che produce per influenza elettricità contraria uell'altro piatto sottoposto B. Resta quindi imprigionata e priva di forza espansiva e di tensione, ossia dissimulata, perchè ivi ritenuta dall'opposta elettricità. È però il piatto col-

(1) Per osservare o determinare questi fenomeni elettrici, suole accostarsi il piatto collettore all' elettrometro graduato, specie d'istrumento di cui si parlerà nel Cap. IV, onde ne segni anche la più piccola tensione.

lettore capace di ricevere altra elettricità, che del pari si aduna e condensa nella sua faccia inferiore. E così di mano in mano si può raccogliere per le influenze quella elettricità che prima non potevasi (§. 4218). Alzandosi quindi il piatto collettore vien meno l'influenza elettrica, e tutta quella elettricità che era dissimulata si rende libera, riprende la sua natural tensione, e sensibilmente la mostra. Si sceglie per la costruzione del condensatore un corpo piuttosto semicoibente che coibente, od un sottile strato di materia non conduttrice; perchè se il corpo fosse coibente, potrebbe a stento, e dopo gran tempo, e forse non mai, produrre per una debole influenza elettricità contraria. L'addensamento del fluido nel condensatore ha per limite l'istante, in cui la forza dell'elettricità addensata vincendo la resistenza dello strato resinoso frapposto ai due piani, si unisce coll'elettricità contraria.

CAPITOLO III.

DELLA LEGGE SECONDO CUI VARIA LA FORZA ELETTRICA, E SUE CONSEGUENZE.

4224. L'azione del fluido elettrico varia d'energia secondo le distanze. Per determinarne la legge ha impiegato COULOMB un apparecchio detto *bilancia di torsione*, potendosi stabilire pel suo mezzo l'equilibrio tra una forza elettrica ed un'altra esattamente commensurabile. Non è quest'ultima forza, detta *di torsione*, che lo sforzo di un filo torto a svolgersi o tornare al suo primitivo stato. Al sottile filo metallico, o di al-

tra materia, AB (Tav. 17 fig. 7) si sospende nel punto di mezzo B una piccola leva CD. Se questa dal riposo passa al moto cominciando a girare intorno al punto B, descriverà cogli estremi due archi circolari, ed il filo si torcerà di tanti gradi, quanti ne comprendono i due archi; volendo conservare il filo nello stato di torsione, bisognerà applicare ad un estremo della leva una resistenza eguale alla potezza o forza con cui il filo tenderebbe a svolgersi, od a tornare in quello stato in cui la torsione era zero nel caso dalla leva in riposo. Ha provato COULOMB che a circostanze eguali questo sforzo, ossia questa forza di torsione è proporzionale all'angolo di torsione; come per esempio, se l'arco descritto dal punto C o D, ossia la quantità di torsione è 30° , ed r la resistenza capace di equilibrare la torsione; supponendola doppia per un arco di 60° , doppia pure è la resistenza, ossia $2r$ per scbarsi l'equilibrio.

1225. Costa l'apparato di COULOMB di una cassa di vetro ABCD (Tav. 17 fig. 8) coperta dalla lastra AB, nel di cui centro è saldato un tubo verticale EF anebe di vetro, terminato da un corto tubo di ottone, a cui aderisce un'altra lastra GH divisa nella sua circonferenza in 360° nella direzione GHI, con nel mezzo un foro, in cui s'introduce una piccola asta, sull'estremo superiore della quale è conficcato un ago aG , girevole insieme coll'asta istessa, mentre è attaccato all'estremo inferiore di questa una pinzetta che tiene un sottilissimo filo di argento bc tenuto teso da un piccolo cilindro di ottone cd sospeso al suo estremo inferiore. Ha questo cilindro una fessura longitudinale che fa le veci di pinzetta, la quale tiene stretta una piccola leva ef , un braccio della qua-

le *ce* è un filo di seta intriso di gomma lacca e terminato da un piccolo piano circolare *e* di carta dorata; ed è l'altro un filo di ottone *cf* lungo in modo da mettere la leva in situazione orizzontale. La lastra *AB* ha un foro in *K*, a traverso del quale passa un altro filo di seta *Hg*, intriso anch'esso di gomma lacca, tenuto in direzione verticale da un cannello trasversale di ceralacca, ed al di cui estremo inferiore è sospesa la pallina *g* di ottone corrispondente al punto zero del cerchio graduato *LM* aderente alla cassa *ABCD*. Facendo girare lentamente il tubo superiore di ottone si può sempre far toccare dal cerchietto *e* la pallina *g* senza provarsi dal filo di sospensione alcuna torsione.

1226. Per mezzo di un tale apparato *Coulomb* presentò nel 1785 all'Accademia delle Scienze di Parigi il seguente esperimento. Elettizzando il cerchio dorato *e*, e la pallina di ottone *g* (Tav. 17 fig. 8) con un piccolo conduttore positivamente elettrizzato, introdotto nella cassa da un'apertura all'uopo fattavi; la pallina respinse tosto il piccolo piano circolare alla distanza di 36° ; tanti indicandone la situazione del piano riguardo alla circonferenza circoscritta alla cassa di vetro; ed il filo metallico si torse di altrettanti gradi. Torto per altri 126° , facendo girare l'ago *aG* aderente alla verga a cui il filo era sospeso, il moto di rotazione dell'ago seguì in direzione opposta a quella del cerchio dorato; e notabilmente accresciuta la forza di torsione, la forza repulsiva de' due corpi non potè più equilibrarla alla stessa distanza; onde il cerchio dorato si avvicinò alla pallina *g*, finchè la forza di repulsione non crebbe in modo per la diminuita distanza da ristabilire l'equilibrio; in

questo punto non distavano fra loro i due corpi che di 18° . La torsione impressa di 126° , non essendo intanto che una continuazione della torsione di 36° , prodotta dalla ripulsione de' due corpi, sottrattine i 18° che misuravano lo svolgimento del filo mentre il cerchio dorato si avvicinava alla pallina di ottone, restarono 18° , i quali aggiunti ai 126° di torsione impressa diedero 144° di torsione totale relativa alla seconda situazione de' due corpi. Ma nella situazione precedente essendo la torsione di 36° , le due forze ripulsive che equilibravano le torsioni erano fra esse nel rapporto di 4 ad 1, identico a quello di 144 a 36; le distanze corrispondenti erano come 18 a 36, ossia come 1 a 2; dunque le forze ripulsive erano in ragion inversa del quadrato della distanza. Questo esperimento in varii modi ripetuto e con diversi rapporti di distanze, non ha mai smentito siffatta legge.

1227. Esperimenti analoghi han comprovato di esser dessa anche seguita dalle attrazioni elettriche. Per misurar queste si toglie dapprima dal suo posto la pallina fissa *g* (Tav. 17 fig. 8), quindi elettrizzato il cerchio dorato mobile *c* si allontana dallo zero per un determinato numero di gradi, girando di altrettanti l'ago *aH*; nel che non soffre il filo alcuna torsione. Rimessa dopo di ciò al suo posto rimpetto allo zero la rimossane pallina *g*, se le comunica una diversa elettricità da misurarsi. Attrae questa pallina il cerchio dorato *c*, che accostandosele fa torcere il filo. Quando la forza di torsione equilibra l'attrazione, il cerchietto dorato *c* si arresta, ed il numero de' gradi da esso scorsi, indicando l'angolo di torsione, mostra l'intensità dell'attrazione elettrica. È dunque certo che l'azione di un corpo elettrizza-

to si estende tutta intorno ad esso , e sia che attiri o che respinga decresce sempre in ragione de'quadrati delle distanze.

4228. Or ne'corpi conduttori il fluido elettrico deve tutto diffondersi sulla loro superficie e nulla restarne al di dentro. Si dimostra questa proprietà coi principii della filosofia Newtoniana; il primo de'quali è , che se tutte le molecole di una sfera attraggono in ragion inversa del quadrato della distanza (dieasi lo stesso della forza ripulsiva), la somma delle azioni che esse esercitano su di una molecola situata fuori la sfera è la stessa che se tutte le molecole agenti fossero riunite nel centro della sfera istessa (§. 62); combinandosi in modo le azioni che partono dai diversi punti della sfera , che esiste una certa compensazione tra le azioni più deboli delle molecole situate al di là del centro su quella situata fuori la sfera, e le più forti di quelle situate al di quà del centro stesso ; onde il centro è il punto in cui dovrebbero riunirsi tutte le molecole per esercitare una forza media eguale alla somma di tutte le forze sparse nell'intera massa. Benchè supponga il secondo principio un simile inviluppo, le di cui molecole agiscano pure colla stessa legge; pure la molecola attratta o respinta invece di trovarsi fuori di esso è situata in qualche punto della sua cavità; ed in tal caso ha NEWTON dimostrato (1)

(1) Questa elegante e semplice dimostrazione, di leggieri applicabile all'ipotesi di una forza ripulsiva , è la seguente. Sia ABFDCE (Tav. 17 fig. 9) una parte di questo inviluppo, ed M la molecola. Si tirino pel punto M due rette BMC, AMD, che interseghino sull'inviluppo due archi infinitesimi AB, CD sostituibili alle loro corde. Supposte due parti simili ed infinitesime del-

di esser egualmente attratta e respinta da ogni parte, di restare cioè immobile nella sua situazione.

1229. Ciò posto, sia AB (Tav. 17 fig. 10) un conduttore elettrizzato di forma sferica. Supponendosi diviso tutto il fluido in infiniti strati sottilissimi, scambievolmente involuppati dal centro alla superficie, e considerandosi agire la sfera su di una molecola m posta sulla esterna superficie di uno di questi strati, come ab ; la ripulsione di tutto il fluido contenuto in questo strato ed in tutti gli altri più vicini al centro eguaglierà quella d'una sfera su d'una molecola posta sulla sua superficie. Pel primo principio dunque questa molecola e tutte le altre che sono alla stessa distanza dal centro, tenderanno ad allontanar-

l'involuppo, che abbiano per diametri AB, CD, saranno fra loro come i quadrati di questi diametri; ed essendo le attrazioni in ragion diretta delle masse ed inversa del quadrato delle distanze, saranno come $\frac{AB^2}{MB^2} : \frac{CD^2}{MD^2}$; ma poi triangoli simili MAB, MCD, AB:

CD :: MB: MD, ossia $AB^2:CD^2 :: MB^2:MD^2$; dunque $\frac{AB^2}{MB^2} = \frac{CD^2}{MD^2}$;

le attrazioni cioè sono eguali. Supposto ora diviso l'involuppo in infinite piccole parti simili alle precedenti, le attrazioni di due delle situate dalle parti opposte saranno anche eguali; onde la molecola M, non attratta più da una che da un'altra parte, resta immobile. La combinazione quindi delle azioni prodotte dalle molecole dell'involuppo è tale, che immaginandosi un piano EF passante per la molecola attratta o respinta e tagliando l'involuppo in due parti necessariamente diseguali, le azioni della parte minore ECDF essendo in generale più vicine, e quelle della parte maggiore EABE seguendo a maggiori distanze, non risulta una esatta compensazione, che tieno in equilibrio la molecola soggetta a queste contrarie azioni. NEWTON *Philosophiæ Natur. Prin. Mathematicæ*, tom. 1, sect. XII. prop. LXX. teor. XXX.

sene e ad uscir fuori della sfera ; onde non potrebbero opporsi a questa tendenza che gli strati compresi fra la molecola m e l' esterna superficie AB. Ma dal secondo principio segue che le azioni di questi strati su d' una molecola posta più presso al centro si distruggono tra esse; l' azione dunque che avviene dal di dentro al di fuori sussisterà interamente. A misura che il fluido uscirà dalla sfera, si formerà verso il centro di essa un vuoto anche di forma sferica. Ogni molecola posta in uno degli strati intermedi fra questo vuoto e l' ultimo strato riguardo agli strati inferiori agirà come se fosse situata in una sfera vuota; il che mostra che l' azione de' primi strati proseguirà a spingerla lungi dal centro, annullandosi l' azione degli altri strati che tenderebbero a trattenerla; uscirebbe quindi in tal caso tutto il fluido che l' occupava, e si spargerebbe indefinitamente nello spazio, se l' aria atmosferica, come non conduttrice, non lo tenesse condensato intorno alla sfera sotto forma di sottilissimo strato. Lo stesso si è dimostrato dai fisico-matematici per un ellissoide e per qualunque altro volume poco diverso dalla sfera.

1230. I Fisici intanto han cercato di supplire l' esperienza alle astratte dimostrazioni. Posta su d' un isolatore una sfera metallica vuota, dotata di un foro circolare di 405 linee di diametro, si mette in comunicazione con un conduttore da elettrizzarsi. Per mezzo di un filo di gomma lacea circa 3 pollici lungo, dotato nell' estremo di un cerchietto di carta dorata, il di cui diametro sia un terzo od un quarto di quello del foro circolare della sfera elettrizzata, vi s' introducea senza toccarne l' orlo il cerchietto dorato, e poi se ne cavi fuori. Si osserverà in tal

caso di non dare affatto il cartone segni elettrici. Si avrà lo stesso risultato rinnovando l' esperimento coll' introdurre il cartone a varie profondità e ritrarnelo. Ma se esso tocca la superficie del corpo o l' orificio del foro , darà all' istante segni di elettricità.

4231. Da ciò s' inferisce che ne' corpi conduttori di qualunque grandezza e forma non resta il fluido elettrico nell' interno, ma si diffonde sempre sulla loro superficie. Un conduttore infatti elettrizzato perd nel vuoto tutta la sua elettricità, perchè non ritenuta dall' aria sulla sua superficie. Non potendo restar dunque il fluido elettrico ne' corpi conduttori senza l' ostacolo degli isolanti, dev' esser tutto accumulato sulla loro superficie per l' opposizione di questi.

4232. L' elettricità quindi comunicata ai corpi conduttori si estende sulla loro superficie, restando nell' interno il fluido ad essi naturale. Quando poi il corpo elettrico influisce su di un altro deferente, il fluido elettrico a questo naturale esce dall' interno e si dispone in più o meno sulla sua superficie , rarefacendosi cioè in una , e condensandosi nell' altra delle due sue opposte facce. I corpi coibenti però poco sentendo l' influenza, ricevono a stento le due opposte elettricità. Benchè infatti un corpo coibente elettrizzato fosse nel vuoto, difficilmente perderebbe il suo fluido elettrico , e lo comunicherebbe con pena ai corpi che lo toccassero. Questa resistenza opposta dai corpi coibenti al cammino del fluido elettrico dicesi *forza coibente* o *coercitiva*, e differisce per gradi ne' vari corpi. Non conducendo quindi questi egualmente il fluido elettrico, diverso tempo richiedesi per distribuirsi in ognuno di essi il fluido ad equilibrio.

1233. Per calcolare la distribuzione del fluido elettrico sulla superficie de' corpi elettrizzati e la sua densità in ogni loro punto, ha stabilito Poisson il principio che lo strato del fluido deve terminare all' esterno dalla superficie del corpo e nell' interno da un' altra poco differente , determinata dalla condizione di equilibrio tra le forze ripulsive delle molecole elettriche. Egli però ha solo scoperto che questa superficie debba essere della sfera e di un elissoide di rivoluzione. Per la densità poi ha stabilito che in ogni punto della sfera è eguale , ma maggiore nell'elissoide nell'estremo del più grande asse; talchè se è desso molto allungato, la densità dello strato elettrico diviene notabilissima in fine del grande asse. Si è calcolato poi che la tensione del fluido elettrico, qualunque sia la forma del corpo, è proporzionale alla densità dello strato fluido. Così lo sforzo del fluido contro l'aria, che lo riticne sulla superficie del corpo , risulta dalla tensione e dalla densità dello strato, ossia è proporzionale al quadrato della tensione o della densità , seguendo quella in ragion di questa.

1234. La densità del fluido elettrico in varii punti di un corpo deferente elettrizzato ricercasi col così detto *piano di prova*, consistente in un cerehietto di carta dorata aderente ad un cilindretto di corallacea. Toccato con questo istrumento un punto della superficie, si presenta alla bilancia elettrica, d'onde ritraesi la quantità, la densità, e la tensione del fluido tolto a quel punto dal piano di pruova. Or dagli esperimenti all'uopo eseguiti da Coulomb risulta che l'elettricità tolta col contatto del piano di pruova è proporzionale a quella del punto, od elemento toccato della superficie , ed a tutta l'elettricità del

corpo. Col piano di pruova si può dunque conoscere i rapporti delle quantità totali di elettricità della superficie in diverse circostanze, o dell'elettricità di varii punti nelle stesse circostanze. Si è infatti così scoperto che le verghe, le lamine, i cilindri ed altri corpi prismatici di notevole lunghezza non hanno ne' varii punti di loro superficie la stessa dose di elettricità. Se il corpo poi è assottigliato, e scemmandosi gradatamente di volume termina in una punta; si è trovato che l'elettricità è più intensa verso questa punta che nel mezzo.

CAPITOLO IV.

DELLE ATTRAZIONI E RIPULSIONI ELETTRICHE, E DEGLI ELETTROMETRI.

4235. Avvicinandosi al conduttore elettrizzato della macchina un corpo isolato e leggiero, come per esempio un globetto di midollo di sambuco, sospeso ad un filo di seta, n'è questo dapprima attratto e poi respinto; ma se lo stesso non è conduttore, n'è dapprima attratto e poi a stento respinto. Deriva il fenomeno dell' *attrazione e ripulsione elettrica* dall'ingresso del globettino nell'atmosfera elettrica del conduttore, e dall'acquisto di contrarie elettricità nelle due opposte facce anteriore e posteriore; talchè se il conduttore è positivamente elettrico, prende il globettino nella faccia anteriore, cioè in quella corrispondente al conduttore, elettricità per difetto, e nella posteriore per eccesso. Per la tendenza dunque della materia della faccia anteriore a ricevere elettricità in più, vince la resistenza dell'aria, e corre al con-

duttore. Se questo è negativamente elettrico, l'elettricità in più della faccia anteriore del globettino tende al conduttore, e vincendo coi suoi sforzi l'ostacolo dell'aria trasporta seco il globettino. Toccando questo il conduttore riceve elettricità, la quale è respinta da quella del conduttore. Correndo quindi l'elettricità del globettino nella faccia più lontana dal conduttore, agisce ed incalza l'aria, che la ritiene, molto più che nella faccia al conduttore più vicina. L'aria dunque preme il globettino più in questa che in quella faccia, e turbato l'equilibrio si muove sembrando esser respinto.

4236. Ma non può seguire con egual prontezza l'apparente ripulsione quando il corpicciuolo leggiero non è conduttore, perchè in contatto col conduttore elettrico ricevendo a stento l'elettricità, ha bisogno di tempo per prenderne quanto ne conviene alla sua capacità. Così una piuma od un pezzetto di carta attratti da un conduttore elettrizzato vi si attaccano in modo che non possono distaccarsene senza difficoltà. Quanto dunque più o meno facilmente si ricomponen l'equilibrio del fluido elettrico tra i corpi dall'attrazione messi in contatto, tanto più o meno sollecitamente essi si distaccano. Se il fluido elettrico disquilibrato tra due corpi in contatto incontra notevole difficoltà a riequilibrarsi, mantenendosi i corpi elettrizzati per un tempo notevole, di tanto sussisterà tra essi l'attrazione e l'aderenza. Da ciò la *cossione elettrica*, effetto della difficoltà che incontra il fluido nel passare da un corpo all'altro per equilibrarsi.

4237. Spiegata l'attrazione e la ripulsione tra un corpo elettrico ed un altro nello stato naturale, si conosce facilmente la reciproca azione di due corpi leggieri elet-

trizzati. Due globettini di midollo di sambuco A , B , (Tav. 17 fig. 11) appesi a due fili di seta a e b , sieno entrambi omologamente elettrizzati. Se elettrici in più si sforzano di comunicare elettricità all'aria in contatto colle facce c , f , la premono e l'incalzano da ambi i lati; ma se elettrici in meno, cercano di assorbire dall'aria che preme le facce c , f , l'elettricità, di cui sono in difetto. Abbondino dunque o manchino di elettricità, non possono restare in contatto nelle due facce d , e ; e per dare o ricevere elettricità, debbono fare degli sforzi nelle facce c , f , contro l'aria, per cui sembrano ripellersi, movendosi per h ed i . Se poi A è elettrico in più e B in meno, le due contrarie elettricità accumulandosi in tal caso nelle due facce che si riguardano d , e , sarà l'aria contrastata in queste da forze maggiori, che non avviene nelle altre due opposte facce c , f , onde l'aria da c ed f , premendo ed incalzando con maggior vigore i due globettini, si avvicineranno questi scambievolmente per g , sembrando di attrarsi.

4238. Può da ciò dedursi la teoria generale dei movimenti elettrici; che quando cioè due corpi sono omologamente elettrizzati si repellono nel caso che la loro leggerezza e situazione il permetta; e quando sono carichi di diversa elettricità si attraggono; e che vi è prima attrazione e poi ripulsione quando l'uno è elettrizzato e l'altro nello stato naturale. Si muovono i corpi elettrizzati, perchè il fluido elettrico, che ne investe la superficie, turba l'eguaglianza delle forze, con cui preme l'aria su ciascuno di essi; e movendosi servono di veicolo al fluido tendente all'equilibrio ed all'irraggiamento, impossibile in un mezzo coibente. Non han luogo questi

moti in un mezzo deferente e nel vuoto, potendo in tal caso il fluido liberamente trasferirsi o verlo richiama l'attrazione.

1239. Dal principio delle attrazioni e ripulsioni si ripete lo *scampanio elettrico*. Agli estremi e dal mezzo della verga metallica A B (Tav. 17 fig. 12), sospesa pel gancio C al conduttore della macchina elettrica, pendono nello stesso livello tre campanelli D, E, F, gli ultimi per mezzo di catene metalliche, ed il medio con un sottile cordono di seta. Questo campanello comunica col suolo mediante la catena G. In fine tra esso e quelli pendono a livello due globettini metallici *a*, *b*, attaccati a cordoncini di seta. Or caricata la macchina, l'elettricità per mezzo dell'arco C e delle catene metalliche scorre nei campanelli D, F, i quali elettrizzati, prima attirano, poi elettrizzano, ed indi respingono i battagli *a*, *b*, i quali respinti urtando il campanello di mezzo gli comunicano la loro elettricità che lungo la catenella G immediatamente dileguasi. Privi quindi di elettricità sono di nuovo attratti, respinti, e scaricati; e finchè la macchina continua ad agire, alternando successivamente i loro moti fanno continuamente sonare i campanelli.

1240. Un altro fenomeno intitolato *la danza elettrica* riconosce la stessa causa. Fra due dischi metallici A, B (Tav. 17 fig. 13), il primo isolato dalle colonne di vetro *a*, *b*, ma in corrispondenza del conduttore della macchina coll'estremo G, ed il secondo in comunicazione col suolo, si collocano due lievissime figurine *c* di midollo di sambuco. Caricata la macchina, l'elettricità scorrendo in A le attira e le respinge, e produce così

una specie di danza, perchè attratte prendono l'elettricità colla testa e la scaricano coi piedi in B.

1241. I fenomeni delle repulsioni elettriche han dato luogo alla costruzione degli strumenti atti a misurare la tensione dell'elettricità, e detti perciò *elettrometri*. Quello di HENLY costa di un cilindro metallico AB (Tav. 17 fig. 14) sostenuto da una base coibente, e dotato verso la sua sommità del pendolo CD, cioè di un filo deferente, da cui pende un lieve globettino D di midollo di sambuco o di sughero. Messo il cilindro AB in contatto di un corpo elettrizzato ne riceve tanta elettricità, quanta è necessaria a portarlo ad egual tensione. Elettrizzandosi col cilindro il pendolino, n'è questo immediatamente ripulso, e tanto più, quanto la tensione è maggiore; ma quanto più è ripulso tanto più si aumenta l'angolo da esso fatto col cilindretto; quest'angolo dunque misurato su di un quadrante EF o semicerchio EFA, il di cui centro è il punto d'inserzione C del pendolino, indicherà la tensione del corpo elettrizzato. È questo strumento perciò denominato *quadrante elettrometro*.

1242. L'elettrometro di TIBERIO CAVALLO perfezionato da SAUSSURRE costa di due globettini di midollo di sambuco *m, n* (Tav. 17 fig. 15) sospesi con due esilissimi fili di argento ad un breve cilindretto metallico (1), inscritto nel centro d'una lamina circolare di ottone C, detta *cappelletto*, posta sull'orificio del collo di una boccia di cristallo col fondo metallico, destinata principalmente a difendere i loro moti dalle agitazioni del-

(1) SAUSSURRE sostitui i fili di argento ai capelli impiegati da CAVALLO.

l'aria. Comunicata al cappelletto l'elettricità del corpo in esame, si ha la tensione corrispondente alla divergenza de' due fili misurata da una scala annessa *a, b*. Si riconosce poi la specie di elettricità secondochè essi si aprono per mezzo del vetro o della caralacca strofinati (§§. 4206-4213). La costruzione di questo strumento è stata modificata da VOLTA. Ai fili di argento muniti delle palline sono sostituite due lievissime pagliuzze appese al cappelletto, della larghezza di $\frac{1}{6}$ di linea, e della lunghezza di circa 2 pollici; la scala, che ne misura la divergenza, è segnata su di un arco, che ha per raggio la loro lunghezza, e divisa in modo che lo spazio compreso tra i suoi gradi eguaglia $\frac{1}{4}$ di linea. Sulle due opposte pareti A e B della boccetta, nei punti a cui si accostano le pagliuzze divergendo, sono incollate due laminette metalliche comunicanti col piano deferente, per dissipare l'elettricità, di cui potrebbe caricarsi l'apparato. Queste laminette sono anche nell'elettrometro di BENNET, diverso da quei di CAVALLO e di VOLTA, per due tenuissime striscette di oro sostituite alle pagliuzze, di cui sono almeno quattro volte più mobili.

1243. A riconoscere l'elettricità di un corpo insensibile per la sua debolezza all'azione degli elettrometri, ha aggiunto VOLTA al suo elettrometro il condensatore. Fermato a vite sul bottoncino dell'elettrometro il disco di rame AB (Tav. 47 fig. 16) guernito di un filo dello stesso metallo terminato nel globetto C, e chiamato *raccoltitore*, perchè addetto a raccogliere e cumulare la piccola elettricità che si vuol rendere sensibile, vi si mette sopra l'altro disco DE col manico isolante F, e tra questo ed il disco è incappata la piccola lista metallica EG, che

mette in comunicazione il disco superiore coi corpi circostanti per renderlo più conduttore. A rendere efficace il condensatore le superficie in contatto de' due dischi sono inverniciate, affinchè l'elettricità di un disco non possa passare nell' altro. Per impiegare il condensatore, il globettino C del disco raccoglitore si tocca più volte col corpo, di cui si vuol esplorare l'elettricità. Raccolta così l'elettricità del corpo in AB, che per influenza produce elettricità contraria nella superficie DE del disco, si rende questo atto a prendere dal corpo una quantità di fluido elettrico che altrimenti non avrebbe potuto ricevere. Alzato quindi ad un tratto il disco superiore per mezzo del manico isolante, le pagliuzze dapprima verticali divergono in *a* e *b*; poichè mancando l'elettricità contraria, che riteneva ed equilibrava quella del disco raccoglitore, questa irraggiandosi si getta ne' pendolini, che resi elettrici si repellono.

1244. Per esatti però che siano gli elettrometri, non indicano l'assoluta quantità dell'elettricità contenuta nella capacità de' corpi, ma solo la tensione, la quantità cioè, che ne ha ogni parte. Se in contatto infatti di un conduttore elettrizzato sino alla tensione di 60° se ne metta un' altro di eguale capacità, ripartendosi egualmente in entrambi l'elettricismo, si abbassa l'elettrometro a 30° . La quantità dell'elettricismo è sempre la stessa, nulla essendocene perduto; ma cresciuta la capacità del doppio, l'intensità e quindi la tensione indicata dall'elettrometro si è diminuita della metà. Prova questo esperimento che non sempre la tensione corrisponde all'assoluta quantità di fluido, potendo un

corpo di molta capacità contenere gran quantità di elettricità, e mostrare intanto una tensione appena sensibile. I gradi poi indicati dalla divergenza delle pagliuzze nella scala graduata, non possono esprimere quelli dell'elettrica tenzione, contrariandosi l'azione dell'elettricità da quella della gravità, che tende a ricondurre le pagliuzze alla verticale, e tanto più quanto più cresce la loro obbliquità. È questo difetto anche più notabile negli istrumenti atti ad esplorare la debolissima elettricità. Per aver quindi un' esatta misura di questa e della sua tensione non si dee impiegare che la bilancia di torsione, capace di misurarne i gradi con esattezza. Non servono gli elettrometri che a determinare in generale la presenza, la qualità, l'aumento, e la diminuzione del fluido elettrico; onde a rigore dovrebbero gli elettrometri intitolare *elettroscopii*.

CAPITOLO V.

DELL' ELETTRICITÀ LUMINOSA E DEL POTERE DELLE PUNTE.

1245. Nel passaggio da un corpo ad un altro, distaccandosi da quello su cui è accumulato, si manifesta l'elettrico con apparenze luminose. Avvicinandosi infatti a conveniente distanza al conduttore elettrizzato della macchina in azione un altro isolato, scoppia tra essi una rumoreggiante scintilla, perchè dal corpo elettrico rapidamente passa l'elettricità all'altro nello stato naturale. Avviene lo stesso sostituendosi al conduttore

isolato un corpo deferente ottuso , come per esempio la nocca di un dito ; e n'è chiara la ragione.

1246. Avvicinato al conduttore elettrizzato un corpo ottuso sente questo l'influenza elettrica; ed essendo quello positivo, la faccia anteriore di questo si elettrizza negativamente. Essendo la pressione o lo sforzo del fluido elettrico contro l'aria , che lo ritiene, proporzionale al quadrato della sua densità; nell'avvicinarsi il corpo ottuso vince la resistenza dell'aria e lancia su di questo, onde l'aria compressa ed agitata manda quel rumore che accompagna la scintilla.

1247. Qualunque poi sia la capacità di un corpo elettrizzato e la quantità dell'elettricità in esso accumulata; la distanza a cui può giungere la scintilla, detta *distanza esplosiva* , è generalmente presso a poco proporzionale alla tensione , ed il più delle volte n'è in ragion diretta ; poichè non potendo scaricarsi la scintilla che per la tensione, non può che vincere per questa la resistenza dell'aria ambiente. Risultando poi dall'esperienza, che posta la stessa tensione si scarica la scintilla ad una maggior distanza nell'aria rarefatta che nella condensata, e che questa distanza è maggiore nell'aria che nel vetro, come in questo più che nella resina; se n'è dedotto che la distanza esplosiva è in ragion composta dalla diretta della tensione e dall'inversa della resistenza del mezzo. Finalmente HARRIS ha dimostrato che le variazioni di temperatura nell'aria non producono alcun cangiamento nella distanza esplosiva, a cui può aver luogo la scarica di una data quantità di elettrico.

1248. Essendo efficaci le scintille secondo la quan-

tà dell'elettricità che le produce, è questa efficacia in ragion composta della tensione e della capacità dei corpi che le provocano. Non corrisponde quindi l'effetto delle scintille alle distanze esplosive. Un conduttore di piccola capacità caricato a gran tensione vibra la scintilla a notabile distanza, ma è dessa poco efficace. Un conduttore al contrario di grande capacità e poca tensione vibra la scintilla a molto minor distanza producendo però un effetto molto più grande.

4249. Il benemerito dottor FUSINIERI ha provato che la scintilla prodotta da una forte scarica porta seco una piccola quantità di quei metalli di cui si compone il conduttore d'onde essa parte; talchè il punto, su cui la scintilla si trasmette, mostra le tracce del metallo trasportato dalla scarica. Facendosi passare la scintilla fra due globi, l'uno di argento, di rame l'altro, si trova una macchia di rame deposta sull'argento ed al contrario. Questa disaggregazione prodotta dal fluido elettrico si comprende facilmente, riflettendo che le particelle materiali della superficie, pel loro stato elettrico omologo debbono esercitare una repulsione le une per le altre; e che questa repulsione può esser tale da vincere la forza di aggregazione. Sostiene oltre a ciò lo stesso FUSINIERI che il metallo trasportato, non solo si depone sulla superficie del corpo, su cui ha luogo la scarica, ma è pur capace di attraversarne l'intera spessezza per deporsi sull'opposta superficie. Benchè quest'ultima deduzione negata sia da PFAFF convien però confessare che il fatto provato dal dotto Fisico italiano, del trasporto di materia ponderabile operato dalla elettricità, è della più alta importanza, dandosi per es-

no ragione delle modificazioni della luce elettrica nel colore e nell'intensità.

1250. La scintilla elettrica esercita una chimica azione per favorire le combinazioni. Accendendo VOLTA nella sua *pistola* un miscuglio di due volumi di gas idrogeno ed uno di ossigeno, mediante la scintilla elettrica ottenne per prodotto acqua, la quale dotata di molta elasticità produce una violenta detonazione. Si ottiene gas acido carbonico quando la scintilla elettrica attraversa un miscuglio di gas ossido di carbonio e di gas ossigeno. PRIESTLEY e CAVENDISH dimostrarono i primi che la scintilla elettrica attraversando l'aria atmosferica contenuta in un tubo, combina gli elementi suoi, l'ossigeno, cioè, ed il nitrogeno, in modo da eomporre l'acido nitrico. Si spiega così la presenza dell'acido nitrico e dei nitrati nelle acque dei temporali accompagnati da fulminazione, che LIENIG ha messo fuori dubbio. La scintilla elettrica però talora lungi dal favorire la combinazione dei due gas, ne produce la divisione. Così il gas acido cloridrico è decomposto in cloro ed idrogeno, ed il gas acido carbonico in ossido di carbonio ed ossigeno. Ed essendosi recentemente dimostrato da DRAPER che l'azione chimica della scintilla elettrica ha luogo in parte anche a distanza, cioè senza attraversare i gas; sembra doversi quest'azione attribuire ad una specie di radiazione chimica, analoga a quella della luce solare.

1251. Fissandosi poi sul conduttore un corpo aguzzo metallico, quello non si carica ed eccita questo nell'aria un venticello, manifestando luce nell'oscurità. Munito il conduttore di punte o di angoli salienti,

manca di forza esplosiva, e lancia nell' atmosfera tutto il fluido che riceve dal disco. Spargendosi esso sulla superficie de' corpi per equilibrarvisi si addensa più nei punti delle loro estremità che in mezzo della loro superficie (§. 4234). COULOMB ha infatti trovato colla bilancia di torsione che equilibrata l' elettricità sopra verghe, lamine, cilindri, o prismi di notevole lunghezza; non tutti i punti della superficie di questi corpi hanno una egual dose di elettricità; che i medii ne hanno meno degli estremi nel senso della larghezza e molto meno in quello della lunghezza; e che assottigliandosi il corpo verso l' estremità, specialmente se è acuminato, l' elettricità è molto più intensa verso di questa che nel mezzo. Il corpo aguzzo dunque posto sul conduttore non è che l' estremità di un corpo allungato, e lo sforzo dell' elettricità addensata sulla punta vince la resistenza dell' aria (1).

4252. Or avvicinandosi la palma della mano al vertice del corpo aguzzo si avverte un certo soffio, detto *venticello elettrico*, prodotto dalla corrente delle particelle aeree che elettrizzate dal contatto si allontanano, cedendo il luogo ad altre che accostandosi successivamente alle punte tolgono loro l' una dopo l' altra l' elettricità.

4253. Spiega questo il fenomeno della così detta *girandola elettrica*. È questa una girandola metallica coi

(1) La polvere, i fili, i capelli, una prominenza qualunque sul conduttore non possono riguardarsi che come punte; quindi il bisogno di serbare il conduttore della macchina ben pulito per non disperdere l' elettricità, che vi si vuole accumulare.

raggi ad estremità *a, b, c, d*, (Tav. 17 fig. 17) molto acuminate e piegate ad angolo retto in senso contrario, ed equilibrata sul vertice di un' asta verticale fermata a vite sul conduttore A della macchina elettrica. Caricandosi questa, l'elettricità irraggiata dalle punte fa ben tosto girar quella rapidamente in senso contrario alla direzione delle sue punte. Le correnti aeree stabilite verso le parti aguzze delle punte, premendole e cacciandole indietro, mettono in giro la girandola.

1254. Avvicinandosi poi al conduttore elettrizzato un corpo aguzzo od una punta qualunque, quello si scarica in silenzio aumentandosene la distanza esplosiva. La facoltà delle punte di facilmente attrarre a grandi distanze il fluido elettrico e di disperderlo, dicesi *forza o potere delle punte*. Facile rendesi la spiegazione dei suoi effetti. Quanto maggiore è la tensione dell'elettricità accumulata in un corpo, tanto più facilmente questo la comunica ad un corpo deferente che se gli avvicina. Quindi un corpo elettrizzato tanto più o men facilmente si scarica quanto meno o più se ne diminuisce la tensione. Si scema questa per l'approssimazione di un corpo deferente tanto più o meno, quanto maggiore o minore è la quantità delle superficie che vi si appressano. Ma può sempre riguardarsi questa come minima nel caso che al corpo elettrizzato si presenti una punta. Dunque producendo le punte la minima diminuzione di tensione, assorbono l'elettricità colla massima facilità. Ed essendo la pressione del fluido elettrico sull'aria proporzionale al quadrato della sua densità, può vincere la sua resistenza e comunicarsi ad una maggior distanza alla punta, a poco a poco ed in silenzio.

1255. Or manifestandosi la forza delle punte non solo coll' attrarre, ma anche col disperdere l' elettricità, facilmente s'intende perchè il conduttore della macchina elettrica esser debba tondeggiante, ed i suoi rami corrispondenti al vetro strofinato muniti di punte. Ne attraggono esse l' elettricismo e lo trasmettono al conduttore ove si accumula.

1256. Benchè i conduttori e gli altri corpi elettrizzati sieno rotondi ed isolati, pure il loro stato elettrico non può essere permanente per la tendenza dell' elettricità in essi accumulata a diffondersi e dileguarsi. Anche i corpi coibenti e specialmente l'aria ricevono, benchè difficilmente, un poco di elettricità dai corpi che circondano. Per piccola che sia la quantità, che può rapirne ad un corpo elettrizzato lo strato aereo che gli è contiguo, appena n'è questo un poco elettrizzato, n'è immediatamente repulso; e cangiandosi così successivamente gli strati aerei che assorbono l'elettricità, se ne rende la perdita dopo qualche tempo assai considerabile. Nuotano inoltre nell'aria delle sostanze più o meno deferenti, che assorbono più o meno facilmente dell' elettricità. Nè solo l'aria, ma anche i sostegni del corpo elettrizzato, e l'umido che spesso li ricopre, ne assorbono a poco a poco l'elettricismo. Tutte le circostanze insomma favorevoli alla dissipazione dell'elettricità attraverso dell'aria, come l'umido, il calore ec. la secondano anche lungo i sostegni.

1257. Questa dissipazione dell'elettricità che ha luogo nel conduttore della macchina a differenza di quella che segue nelle punte, non è accompagnata da apparenze luminose; mentre dissipandosi, od attraendosi dalle

punte, o trasmettendosi sui corpi ottusi si osserva, specialmente nelle tenebre, una luce che accompagna la trasmissione del fluido attraverso dell'aria. Quando al conduttore positivamente elettrizzato si avvicina un corpo acuminato, il fluido elettrico passando da quello a questo e concentrandosi sulla punta vi presenta una stelletta luminosa; se poi si applica il corpo aguzzo sul conduttore, il fluido si dissipa sotto l'apparenza di un fascetto di raggi divergenti, ossia sotto la forma di un fiocco lucido.

1258. Questi fenomeni luminosi sono però più vaghi quando l'elettricità rapidamente spiccasi dal conduttore. Le scintille sono in tal caso di vario colore secondo la diversa natura de' corpi da cui spiccansi, la quantità dell'elettrico che le produce, e la maggiore o minor densità dell'aria che fendono. A rendere più sensibile la luce elettrica s'istituisce il seguente sperimento. Si prende un tubo di cristallo, che ha negli estremi due palle metalliche A e B (Tav. 17 fig. 18) comunicanti fra esse al di dentro pel mezzo di una spira fatta di più pezzetti di stagnuola. Tenendo in mano la palla A ed avvicinando al conduttore elettrizzato l'altra B, se ne cava una scintilla, che si manifesta ne' piccoli intervalli posti tra i pezzetti di stagnuola. Allo stesso modo sono costruiti altri apparati atti a mostrare nell'oscurità i più belli fenomeni luminosi sotto l'aspetto di iscrizioni, d'immagini, di fiori, e simili.

1259. Il colore della scintilla elettrica non varia soltanto colla densità dell'aria che attraversa, talchè nell'aria rarefatta il suo colore violaceo si aumenta notabilmente; ma varia ancora nei diversi gas. Nell'azoto la scin-

tilla elettrica è di color porpora o di azzurro; nell'ossigene è bianca e poco brillante; e nell'idrogene è di color cremisi.

1260. WOLLASTON, FRAUNHOFER, e WHEATSTONE, avendo sottoposto la luce elettrica all'analisi di un prisma triangolare di cristallo, hanno osservato delle differenze nei sette colori o spettri della scintilla secondo la varia natura dei metalli, tra cui avea luogo la scarica. Quindi FUSINIERI e WHEATSTONE attribuiscono queste differenze alle varie materie ponderabili trasportate dalla scarica in istato di ignizione. Checchè ne sia, è però indubitato che queste materie influiscono non poco sulla produzione del fenomeno.

1261. Varie sono le opinioni de' Fisici sull'origine della luce elettrica. La credono alcuni una modificazione del fluido, che addensato diviene luminoso. Sostengono altri di essere allo stesso congiunta per affinità, e di non rendersi libera e quindi sensibile che quando il fluido si addensa, al pari dei gas condensati e de' corpi stropicciati che sviluppano calorico. Altri poi osservando di essere la luce elettrica più o meno bianca, e di variare anche di tinta secondo la maggiore o minor quantità di elettrico, che comprime meccanicamente l'aria, i vapori ed i mezzi che attraversa, opinano di svolgersi la luce elettrica dall'aria per la compressione che vi fa il fluido. L'esperienza però sembra contraria a quest'ultima opinione, mostrandosi la luce elettrica sotto le più belle forme così nell'aria addensata che nella rarefatta. Quelli poi che ripetono la luce dalla vibrazione dell'etere, pensano che l'elettricità scuotendo questo esilissimo fluido operi al pari di un corpo luminoso e produca lu-

ce. Da queste ed altre opinioni però non si può concludere, che per l'incertezza sull'origine di questa specie di luce.

CAPITOLO VI.

DELLA BOTTIGLIA DI LEIDA E DELLE BATTERIE ELETTRICHE.

4262. Poichè CUNEUS elettrizzando l'acqua entro una bottiglia ebbe scoperto nel 1745 il più efficace mezzo di anmentare notabilmente l'intensità delle scintille elettriche, prese fin d'allora un tale apparato il nome di *bottiglia di Leyden*. Costa esso di un vase cilindrico di vetro AB (Tav. 17 fig. 19) colla superficie interna ed esterna ricoperta sino all'altezza BA (1) di lamine di stagno, dette *armature*, interna l'una, esterna l'altra. Attraverso del sughero che ne chiude la bocca passa un'asta metallica C detta *filo conduttore*, terminato al di sopra in una palla, e comunicante al di sotto coll'armatura interna. Si fa uso di questo apparato mettendo in contatto la pallina del filo conduttore C col conduttore M della macchina elettrica, ed in comunicazione col suolo l'armatura esterna. Attivata la macchina, il fluido elettrico emessone passa per mezzo del filo C nella boccia, ed accumulandovisi danno le armature segno di elettrizzamento e la bottiglia *si carica*. Quanto più ampia è la superficie armata, tanto è mag-

(1) Invece della lamina interna, si può riempire la bottiglia di fili di ferro, o di pezzetti di foglia di rame.

giore la capacità della bottiglia, e tanto più tempo richiedesi per caricarla ad una data tensione. Caricata intanto che sia, mettendosi le due armature in comunicazione coll'arco metallico $a b$, munito nel mezzo del manico isolante D , e terminato in due palline, detto perciò *arco eccitatore* o *scaricatore*, toccandosi cioè colla pallina a l'armatura esterna e con b il filo conduttore, balenerà all'istante l'elettricità accumulata nell'armatura interna, passando lungo l'arco dall'interna alla esterna armatura. È questa prima corrente elettrica più o men forte secondo la maggiore o minore capacità e tensione della bottiglia. Non *scarica* essa interamente la bottiglia, proseguendo a dar questa segni poco notabili di elettrizzamento; ma le ripetute scintille che si provocano ne indeboliscono a poco a poco la carica, le tolgono la facoltà di darne altre, e ne compiscono infine la scarica.

4263. Le proprie braccia, come deferenti, rimpiazziar possono l'arco eccitatore nella scarica della boccia elettrizzata, toccando all'uopo con una mano la pallina del filo conduttore e l'armatura esterna coll'altra. La si può anzi scaricare per mezzo di più persone tenentisi per mano in cerchio, cioè che *facciano catena* come suol dirsi, la prima delle quali tocchi il filo conduttore e l'armatura esterna l'ultima. Dà in tal caso il fluido elettrico una forte scossa alle braccia ed al petto di tutte le persone che attraversa, tutte ne sono sensibilmente scosse ad un tempo; quelle di mezzo però meno delle esterne (1). Le scariche molto poderose uccidono

(1) Qualora l'arco è alquanto prolungato parte da esso

gli uccelli ed i piccoli animali. Intanto lo stato attuale delle fisiologiche cognizioni non permette di giustamente determinare in qual modo il fulmine e le forti scariche elettriche cagionano la morte dell'uomo e degli animali. Ma poichè ninna lesione, niun abbrugiamento osservasi nell'animale ucciso colla scarica elettrica, sembra che l'azione di questa si porti principalmente sull'elemento delle funzioni nervose.

1264. Non è difficile l'intendere come avvenga la scarica di questo apparato. Scorrendo il fluido elettrico del conduttore per mezzo del filo e dell'armatura sulla superficie interna del vetro, ed agendo per influenza su quello dell'esterna, produce elettricità contraria. Avvicinando infatti al filo conduttore, comunicante coll'armatura interna, un globettino sospeso ad un filo di seta, come per esplorare con questo lo stato elettrico di quella, si osserva d'esserne lo stesso prima attratto e poi respinto; e respinto dal filo conduttore essere attratto dall'armatura esterna; mentre un pendolino respinto da questa è attratto dal filo conduttore. La boccia caricata è quindi dotata nelle due superficie di contraria elettricità, positiva l'una, negativa l'altra; ed isolata non può mai in conseguenza caricarsi, non potendo l'armatura esterna elettrizzarsi in modo opposto dell'interna. Caricandosi quindi la boccia non si fa che

il fluido che supplisce il difetto nella superficie negativa, arrestandosi in esso quello che si stacca dalla positiva, onde si restituisce l'equilibrio senza attraversarsi effettivamente l'arco dalla corrente. È per ciò che le persone site nel mezzo di un lungo arco conduttore sperimentano meno delle altre la scossa elettrica.

costituirne le armature in due contrarii stati elettrici ; separati dall' interposizione e spessezza del vetro. Ond' è che la boccia di Leida è una specie di condensatore capace per l' influenza di accumulare gran copia di elettricità.

1265. Caricandosi la boccia per influenza ben intendesi che mentre l' elettricità si aduna in un' armatura, dall' altra se ne perde. Mettendosi infatti una bottiglia di Leida su di un piano di vetro coperto di ceralacca, e la pallina del suo filo conduttore a breve distanza dal conduttore della macchina ; elettrizzata questa , si osserverà che quante sciutille si lanceranno sull' armatura interna , altrettante se ne scaglieranno dalla esterna sulla nocca del dito. E non potendo l' armatura esterna di una boccia isolata perdere elettricità a misura che si cumula questa nell' interno, non si può quindi caricarla. I due stati elettrici intanto delle due superficie della boccia , sono ad un dipresso eguali , non mai affatto , come altra volta si sostenca; risultando dagli sperimenti di BECCARIA (1) e di BELLI (2) , che l' elettricità indotta è in ragione inversa della spessezza del coibente, la quale non è mai nulla.

1266. Caricata la boccia, non si può scaricarla senza la comunicazione delle due sue armature ; poichè ove fosse questa interrotta , il fluido eccessivo dell' interna non potrebbe accorrere nell' esterna a compensarne il difetto. Ma quando un arco conduttore mette in comunicazione le due armature, immediatamente passa attra-

(1) *Elettricità Artificiale* §. 257.

(2) *Fisica Sperimentale* vol. 3 §. 1036.

verso di esso con impetuosa rapidità una corrente di fluido elettrico dalla superficie positiva alla negativa, e si ricompone così l'equilibrio. Urtando questa corrente nei corpi che incontra, vi produce più o men di effetto secondo ch'è più o men copiosa, più o men rapida, e maggiore o minore ostacolo le oppongono i corpi costituenti l'arco che attraversa.

4267. La scintilla che si cava dalla boccia non è lunga quanto quella che si tira dal conduttore della macchina. Non essendo mai il vetro assolutamente impermeabile, ma penetrando sempre attraverso di esso una parte di elettricismo, che ritiene per la forza coercitiva; l'elettricità non ostante la sua copia e densità non può saltare tanto lungi quanto dal conduttore della macchina. Perciò nella prima scarica non mai vien fuori tutta l'elettricità accumulata nella faccia interna; e restandone sempre una parte internata ed imprigionata nel vetro, ha bisogno di più tempo per svolgersi. Perciò dopo la prima scarica, sempre più copiosa ed intensa, debole succede la seconda, e debolissima la terza. E quindi è che quando credendosi già scarica la bottiglia la si prende senza precauzione, si prova una scossa più o men forte.

4268. FRANKLIN e JALLABERT costruirono i primi la boccia di Leyden a superficie piane. Coprendo all' uopo una lastra od un disco di vetro di lamine di stagno su d' ambe le superficie sino alla distanza di circa due pollici dall' orlo, si prolunga una piccola striscia dello stesso metallo dalla superficie inferiore alla superiore fino ad un certa distanza dalla foglia metallica di questa superficie, onde rendere più facile la comunicazione

tra le due armature. Una catena poi mette in comunicazione la sua superficie superiore col conduttore della macchina in azione, e l'inferiore col suolo. Quando l'elettricismo è abbondante si scarica spontaneamente quest'apparato con viva scintilla, che dall'armatura superiore si spicca sulla striscia che fa parte dell'armatura inferiore. Se meno abbondante è l'elettricismo, si mette la striscia in comunicazione colla superficie superiore, e si ottiene una viva scintilla se si opera con un eccitatore, o la scossa se si agisce colle mani. Dicesi questo apparato *quadro magico*, o *quadro fulminante* (1).

1269. Se al conduttore della macchina s'appendasi il filo conduttore della boccia *a* (Tav. 47 fig. 20), ed al fondo di questa si sospenda con uncino una seconda boccia *b*, ed al fondo di quest'altra la terza *c*, e così di seguito, facendo comunicar l'ultima col pavimento per via della catena *d*; si osserva che caricata la prima dalla macchina lo sono anche al tempo stesso tutte le altre. Respinto il fluido dalla faccia esterna della prima boccia s'introduce nell'interna della seconda, e quello ch'è respinto dall'esterna di questa ne carica la terza, e così successivamente. Perciò siffatto modo di caricare le bocce dicesi *carica per cascata*.

1270. La scarica di questo apparato può seguire in due modi. Si può dapprima scaricarlo mettendo in comunicazione l'interna superficie della prima coll'ester-

(1) La scarica spontanea del quadro magico segue senza rottura dell'apparato, come potrebbe avvenire elettrizzando in eccesso una comune boccia di Leida cilindrica.

na dell'ultima. Benchè si scarichino in tal caso tutte le bottiglie ad un tempo, la corrente risultante non è peraltro più vigorosa di quello che sarebbe se una soltanto se ne fosse scaricata col metodo ordinario, restituendosi solo l'equilibrio tra la superficie interna della prima e l'esterna dell'ultima, e non producendosi la scossa che dal fluido di queste due facce. Ma dopo di questa prima scarica succedono quelle delle bocce intermedie, perchè ridotte nello stato naturale la faccia interna della prima e l'esterna dell'ultima boccia, non può tenersi più oltre addensato il fluido elettrico. Comunicando quindi la seconda colla prima si rende allo stato naturale, come la terza colla seconda, e così di seguito. Si può inoltre scaricare l'apparato col distaccare le bocce l'una dall'altra mediante le dovute precauzioni per non disseletrizzarle, ponendole tutte reciprocamente in contatto su di un piano coibente, e mettendo in comunicazione per mezzo d'una catena i fili conduttori di tutte; toccando poi coll'arco scaricatore la superficie esterna ed il filo conduttore di una, si scaricano tutte ad un tempo. La corrente però, che formasi in tal caso, eguaglia la somma dell'elettricità in tutte le bocce cumulate, la scossa si rende ben forte, e la scarica tanto più vigorosa quanto è maggiore il numero delle bocce, più ampia la loro superficie armata, e più addensato in ognuna il fluido elettrico.

1271. Appreso quindi il mezzo di aumentare la capacità dell'apparato di Leyden, e renderne più vigorosi gli effetti, s'inventò la *batteria elettrica*, composta di più bocce tra esse comunicanti, collocate sul fondo

metallico di una cassa AB (Tav. 17 fig. 21), che ne mette in contatto le superficie esteriori. Riunendosi i rispettivi fili conduttori nella palla metallica C, e comunicando così tra esse tutte le rispettive interne ed esterne superficie, di più bocce se ne forma una sola. E crescendo colla superficie armata l'elettricità, se ne trae da una batteria gran copia avendosi una scarica, ossia un'esplosione molto intensa. Per caricar quindi una batteria si mette in comunicazione la palla D col conduttore della macchina, ed il fondo della cassa col suolo mediante la catena E; e basta per scaricarla poggiare un estremo dell'arco scaricatore sulla catena E, e toccar coll'altro la palla D.

1272. Accumulata l'elettricità nelle bocce e nelle batterie si potè meglio esaminarne le proprietà. Così WATSON scaricando una grossa bottiglia con un arco lungo 41519 piedi francesi non si accorse di alcuna differenza di tempo. Però dai recenti esperimenti di WHEATSTONE si ha che la scarica elettrica si propaga attraverso di un filo scaricatore con una velocità non minore di 250 mila miglia inglesi per secondo, ossia con una velocità maggiore di quella con cui la luce si trasmette negli spazi planetarii (§.898).

1273. Questo fluido intanto imprende sempre nel suo tragitto la via più breve, e quella offertagli dal miglior conduttore. Scaricandosi infatti una bottiglia con un'arco terminato da una corda di fil di ferro, la corrente elettrica lungi dallo scorrere per la curvatura dell'arco, il sentiero presceglie del filo metallico. Ma se è questo rimpiazzato da un bastoncino di legno, trascorrerà la scintilla per l'arco metallico come miglior conduttore

del legno. La corrente elettrica adunque nell'attraversare l'arco eccitatore incontra un ritardo per parte della materia di cui esso si componc. Di fatti un filo di rame conduce meglio di un egual filo di ferro o di platino. In generale i metalli sono i migliori conduttori; l'acqua, specialmente se è carica di sostanze saline o di acidi, conduce bene l'elettricità. Molti corpi, come il vetro e la ceralacca, acquistano la conducibilità quando son fusi; ad eccezione però dei metalli la di cui conducibilità è diminuita dall'azione del calore.

1274. La scarica elettrica incontra della resistenza a propagarsi anche attraverso dei buoni conduttori quali sono i metalli, come si è precedentemente detto; resistenza che si è provato coll'esperienza crescere con la lunghezza. Questa influenza della lunghezza si sperimenta maggiore nei corpi non buoni conduttori. Si è conosciuto parimenti che la durata di una data quantità di elettricismo è accresciuta diminuendosi l'ampiezza trasversale del corpo pel quale si propaga. S'ignora tuttavia se la scarica elettrica abbia luogo per la superficie dell'arco, o per la sua massa. Parlandosi della corrente elettrica si vedrà che questa si trasfonde per tutta la massa. Avendo però osservato HARRIS, che scaricando una boccia la maggior parte della elettricità attraversante l'arco eccitatore si diffondeva nell'aria quando questa era rarefatta, sembra potersi conchiudere che nella scarica elettrica una gran parte della elettricità scorra per la superficie del corpo scaricatore. È poi ben chiaro l'intendere, che date costanti le condizioni dell'arco pel quale la scarica ha luogo, la sua durata deve variare colla intensità della carica elettrica.

1275. Non meno importanti sono i fenomeni prodotti dal passaggio della scarica attraverso dei corpi. Per eseguire col suo mezzo tutti gli esperimenti s'impiega il così detto *scaricatoio universale*. Costa questo apparato di due colonne di vetro A e B (Tav. 12 fig. 23) verticalmente e stabilmente fisse su di un piano di legno. Poste su di esse due verghe metalliche *ab, cd*, terminate ne' globetti *a, b, c, d*, si possono tirar queste avanti e dietro, e muovere in ogni senso, mentre la tavola C è sostenuta fra le due colonne da un piede. Per osservare gli effetti della elettricità su di una sostanza qualunque, si mette questa sulla tavola C tra le due paline *a e c*, e si fa poi passare la scarica della boccia o della batteria attraverso di essa mediante i due conduttori isolati, ossia sbarre metalliche *ab, cd*, una delle quali comunica coll'interno e l'altra coll'esterno della boccia o della batteria. Qualunque sia il corpo, attraverso del quale si fa passare la scarica elettrica, si trova sempre di aver esso subito un dato riscaldamento, di cui non è facile assegnar la cagione, benchè la maggior parte de' Fisici voglia ripeterla dalla subitanea compressione delle parti del corpo percorso dalla scarica. Il primo che abbia determinato questa temperatura è stato KINNERSLEY, inventando all'uopo il suo *termometro elettrico*. Il dotto Fisico di Berlino RIESS avendo intrapreso una serie di ricerche su questo argomento, è giunto a dimostrare che l'elevazione di temperatura cagionata dalla scarica elettrica è proporzionale alla quantità del fluido, ed alla lunghezza, al diametro, ed alla natura del filo metallico costituente il circuito. Ad onta di analoghi risultati posteriormente ottenuti dall'illustre DE

LA RIVE, fa d'uopo convenire, che nessuno meglio di RIESS ha dimostrato che la quantità di calore che la scarica elettrica sviluppa, dipende dalla resistenza che questa scarica incontra.

1276. È per effetto di questo riscaldamento che un filo di oro, di argento, di ferro fortemente riscaldato, si arroventa, si fonde, e brugia; che una foglia d'oro stretta da due vetri si fonde; e che il solfo, la polvere da sparo, le resine, la bambagia s'infiammano. Mettendosi il vase A (Tav. 17 fig. 22) sul conduttore della macchina ripieno in parte di etere o di alcoole, basta tirare colla mano o collo scaricatoio una scintilla per accendersi il liquido contenutovi. Dunque la scarica delle bottiglie, e delle batterie è la più evidente pruova della forza comburente del fluido elettrico.

1277. WOLLASTON ha ottenuto il primo la decomposizione dell'acqua e del solfato di rame per mezzo della scarica elettrica. Or trasportandosi in questi esperimenti i divisi elementi in opposte direzioni, suppone FARADAY che questi elementi si muovano seco portando lo stato elettrico acquistato per l'induzione. Prova egli questo stato di polarizzazione o d'induzione molecolare delle parti di un corpo coibente attraversato dalla elettricità, scoccando una serie di scariche in una massa di essenza di trementina ben limpida, avente una quantità di fili di seta bianca in se nuotanti. Passando la scarica si dispongono questi in fila, in modo da indicar la via percorsa dalla scarica; e cessando questa, si disperdono di nuovo irregolarmente.

1278. Gli esperimenti infine del *percia-vetro*, non chè quello del *percia-carta*, che attribuito a GIOVANNI

GOUGH, han richiamato l'attenzione di tutti i Fisici, favorendo il sistema di FRANKLIN. Questo s'istituisce nel seguente modo. Posta una carta da giuoco *a* fra due conduttori acuminati (Tav. 17 fig. 24) talchè corrispondano questi alle due facce opposte della carta, si mette in comunicazione il filo conduttore d' una bottiglia di Leida ben caricata col conduttore *b*, ed il conduttore opposto coll'armatura esterna mediante la catena *c*. Scaricandosi la boccia, scende il fluido dal conduttore superiore per traforare la carta in un punto corrispondente al conduttore inferiore, e vi fa un foro coll'orlo prominente verso la superficie negativa ed incavato verso la positiva, come se fosse fatto da una punta nel senso della faccia positiva alla negativa. A rendere più sensibile il cammino di tal corrente, incollò PICTET sulle opposte facce di una carta da giuoco due triangoletti di stagnuola colle basi rivolte alle estremità della carta, e cogli opposti vertici tra essi distanti di un pollice, restando tra questi la carta scoperta. Facendo passare il fluido ottenuto colla scarica di una bottiglia per i triangoletti metallici, ben s' avvide da quale de' due vertici partiva la scintilla e quale era la direzione della corrente. Riconobbe così di andar sempre questa dall' armatura positiva alla negativa. È per l' efficacia della corrente elettrica che una fiammella da essa scossa piegasi verso la superficie negativa; e verso di questa muovesi un lieve globetto urtato dalla scarica.

CAPITOLO VII.

DELL' ELETTRICITÀ SVOLTA DALLE AZIONI
MECCANICHE.

1279. EFINO osservò il primo esser la pressione un altro processo meccanico, atto al pari dello stropicciamento allo sviluppo della elettricità. Per contestare LIBES questo processo elettrizzante, indipendentemente da qualunque confricazione, calcava un disco di metallo isolato contro un pezzo di taffetà verniciato, e distaccatolo ne scandagliava lo stato elettrico mediante l'elettroscopio: lo trovava egli elettrizzato negativamente, operando nel modo indicato; e lo trovava elettrico positivo, confricandolo prima di distaccarlo. Lo illustre HAUY conobbe poi che lo spato d'Islanda, ed altri fossili si elettrizzano facilmente premendoli solo fra le dita; proprietà che, da dotto Oritognosta quale era, seppe utilmente applicare allo studio di questa classe di esseri (1). BECQUEREL ha non ha guari determinato tutte le circostanze che fan variare lo sviluppo dell'elettricità così eccitata. Si può desumere che la sua quantità è proporzionale al grado di pressione subita dai due corpi, ed alla velocità con cui sono separati. Quando i due corpi premuti si separano con una velocità costante, l'elettricità sviluppata trovasi proporzionale alla sofferta pressione: se poi è questa la stes-

(1) *Trattato dei caratteri fisici delle pietre preziose*, traduzione dell' Ab. CONFIGLIACHI, Milano 1819.

sa, ed i corpi si distaccano con varia prontezza, l'elettricità di cui trovansi carichi dopo il distacco, è di tanto minore per quanto più lentamente sono stati essi separati. I due corpi finalmente conservano l'acquistata elettricità per un tempo reciprocamente proporzionale alla loro conducibilità.

4280. Alla produzione di questi fenomeni influisce non poco la temperatura. Lo spato d'Islanda si elettrizza positivamente premuto alla temperatura dell'ambiente; ma assoggettato a questo processo elettrizzante dopo di averlo preventivamente riscaldato, si elettrizza negativamente. In generale può dirsi che due corpi della stessa natura ed egualmente caldi, non si elettrizzano per la scambievole loro pressione; ma l'elettrizzazione ha luogo qualora la loro temperatura è differente, elettrizzandosi negativamente il più caldo di essi. È questo un fatto di non poco interesse, dovendosi in luogo più opportuno generalizzare.

4281. Sin dal principio della esposizione dei fenomeni elettrici si è detto che i corpi si elettrizzano colla confricazione; non tutti però in eguale grado. BECQUEREL con un'istrumento atto a scoprire la presenza delle correnti elettriche, il galvanometro, la di cui descrizione si darà altrove, è giunto a provare che due metalli si elettrizzano quando si stropicciano fra di essi. Lo stesso illustre elettricista facendo cadere della polvere metallica su d'una lamina dello stesso metallo inclinata in modo da far cader la polvere in una capsula congiunta ad un elettroscopio a foglie d'oro, ha rilevato che la limatura si elettrizza negativamente. Non fa eccezione a questa legge che l'antimonio, giacchè stri-

sciando su d' una lamina di questo metallo , si elettrizza positivamente. Il calore influisce su questo modo di elettrizzazione non altrimenti che su quello per pressione; talechè sperimentando con polveri e lamine metalliche di diversa natura , e riscaldando entrambe , o la limatura soltanto , l' elettrizzazione negativa di questa aumenta , tale stato acquistando alla temperatura ordinaria , e può anche invertirsi se prima si elettrizzava positivamente.

1282. Non è intanto a suppersi dovuta questa elettricità al calore svolto dall' attrito , giacchè i molti fatti all' uopo escogitati dal prelodato BECQUEREL , e dal benemerito Prof. GUERARDI, provano che gli stati elettrici acquistati dai due metalli per confrazione sono opposti a quelli che si sviluppano per istropicciamento.

1283. La buona conducibilità dei metalli fa che per la scambievole confrazione non possan mai acquistar essi tanta tensione elettrica da potersi valutare cogli elettroscopii. La poca conducibilità delle polveri metalliche, ed il rapido loro corso sulle lamine , sono le circostanze che atte le rendono a conservare l' acquistata elettricità. Ecco perchè si presceglie il confrare insieme due corpi cattivi conduttori, od un cattivo con un buon conduttore , per così ottenere in gran copia l' elettricità. Si è quindi conosciuto che la pelle del gatto vivo si elettrizza sempre positivamente ; che il vetro acido si elettrizza positivamente stropicciato con tutte le sostanze fin ora tentate , fuorchè colla pelle di gatto e col mercurio in certe condizioni ; che il vetro appannato è positivo coi corpi resinosi , collo zolfo , coi metalli, ed è negativo coi drappi di lana, colla ear-

ta e colla mano; e la cera di Spagna è positiva con molti metalli, e negativa col ferro, col bismuto, coll'acciaio ec; colla mano, colla carta, colla lana, e col cuoio; e che finalmente i corpi resinosi son sempre negativi con i non resinosi.

4284. Sono troppo interessanti gli esperimenti di **DESSAIQUES** sulla elettricità sviluppata dalla fregazione del mercurio per passarsi sotto silenzio. Risulta da essi che lo zolfo, il vetro, l'ambra, la ceralacca, la carta, la lana, il cotone ec. immersi nel mercurio si elettrizzano. Premendo il mercurio in una pelle di camoscio, la pioggia metallica, che ne cade per i pori, è elettrizzata negativamente. La temperatura del corpo immerso e quella del mercurio hanno una grande influenza sullo sviluppo e sulla natura dell'elettricità sviluppata. Si elettrizza quindi il vetro positivamente, se la sua temperatura è poco più elevata di quella del mercurio, e si elettrizza negativamente, se questa differenza di temperatura è molto grande.

4285. Anche l'aria ed i gas stropicciati contro un corpo solido sviluppano elettricità. Agitandosi un pezzo di seta nell'aria, ed avvicinandosi poi all'elettroscopio, lo si trova negativamente elettrizzato.

4286. Stropicciandosi in croce due nastri bianchi di seta, talechè una stessa superficie dell'uno scorra successivamente sulle diverse parti dell'altro, il primo di essi che soffre uno stropicciamento più forte perchè limitata l'azione meccanica ad una piccola porzione della sua superficie, si elettrizza negativamente. Da questo fatto i Fisici han concluso, che quello dei due corpi, le di cui parti soffrono un maggiore allontanamento dalla lo-

ro situazione di equilibrio, prende l'elettricità negativa. Risultando poi dagli esperimenti di **PECLET**, che la pressione, la velocità, ed il modo di confricazione, sono senza influenza sullo sviluppo della elettricità, si è conchiuso che la direzione, e l'intensità del movimento attivante le molecole spostate dallo stropicciamento, sono del pari senza influenza. Si esaminò poi lo stato molecolare delle due superficie che si confricano, o la loro relativa estensione, o la relativa loro temperatura; è indubitato che il calore dispone i corpi ad elettrizzarsi negativamente per effetto della confricazione.

1287. Un fatto di sommo interesse per la scienza si è recentemente osservato da **ARMSTRONG**. Avendo egli avvicinato la giuntura del dito alla valvola di sicurezza di una caldaia a vapore di Cramlington presso Newcastle, da cui impetuosamente usciva una colonna di gas acqueo, ne ottenne poderose scintille elettriche. Questo primo fatto indusse lo stesso **ARMSTRONG**, ed indi **SCHAFTHAEUTL**, e **FARADAY** ad istituire all'uopo delle ricerche, da cui è risultato che lo svolgimento della elettricità ha luogo quando il vapore si forma sotto una grande pressione, nel qual caso il gas acqueo trasporta molte goccioline di acqua. Da ciò ha dedotto il lodato **FARADAY**, ch'è prodotta l'elettricità dalla confricazione dei globetti di acqua violentemente trasportati dalla colonna vaporosa contro le pareti della caldaia e del tubo da cui sorte. Avendo **ARMSTRONG** così ottenuto delle cariche elettriche incomparabilmente maggiori di quelle che possonsi ottenere colle più poderose macchine comuni, ha costruito la sua rinomata

macchina idro-elettrica, da cui si ottengono i più portentosi fenomeni elettrici.

CAPITOLO VIII.

USO MEDICO DELL' ELETTRICITA'.

1288. Profittando la medicina in ogni tempo dei progressi della fisica , ha saputo ben impiegare l'elettricità per la guarigione di molti mali. Le pregevoli opere di BRYDON, di TESCHE, di JALLABÉRT, di DE SAUVAGES, di VIVENZIO , e di altri più recenti scrittori di pratica medica, abbastanza comprovano l'azione dell'elettricismo sull'economia animale , quando è convenevolmente usato; talchè ora quasi generalmente conviensi d'esser atto questo fluido a sciogliere gli umori ristagnati od addensati, ed a ravvivare scuotendo i muscoli ed i nervi (1). Se ne commenda quindi l'uso nelle paralisi, nelle sordie , nei reumi cronici , nell'amaurosi , ed in altre simili infermità. .

1289. Dividesi la cura elettrica in tre periodi. Il primo detto *bagno elettrico* consiste nell'isolare l'infermo su di uno sgabello, e metterlo con una catena in comunicazione col conduttore della macchina per elettrizzarlo. VOLTA anzi proponea di elettrizzare l'aria di una stanza per mezzo di punte, o meglio di fiammelle comunicanti col conduttore fortemente elettrizzato ;

(1) Il ch. Archiatro Cav. VIVENZIO guarì da un forte reuma la su nostra augusta sovrana MARIA CAROLINA d'Austria , di felice ricordanza , per mezzo dell'elettricismo.

perchè più conduttrici e diffusive delle punte a fin di rendere il bagno più salutare. È il secondo quello delle scintille, tirate dai luoghi e membri malsani degli infermi. Ed il terzo infine è quello delle scosse; limitate ai soli membri offesi, e da aumentarsi a poco a poco di forza. S'impiega all'uopo la boccia A (Tav. 47 fig. 25) portante il piccolo conduttore metallico isolato *ac*, da un di cui estremo pende un filo od una piccola catena, che lo mette in comunicazione col braccio, per esempio, dell'infermo; ed un'altra catena, che dall'armatura esterna della boccia si porta in un altro punto dell'arto infermo descrivendo così un cerchio tra l'interno della boccia, il conduttore isolato, il braccio dell'infermo, e l'esterna superficie della boccia. Or quanto più s'avvicina *c* alla pallina *b* del filo conduttore, tanto più presto salta la elettricità dall'interno della boccia nel conduttore *ac*, e quindi nel braccio, e tanto più debole si risente la scossa; ma a misura che *c* si allontana da *b* la tensione del fluido per lanciarsi s'accresce, e la scossa risulta più forte (1).

1290. Molte precauzioni intanto richiede un tale impiego dell'elettricità. Per degli organi delicati infatti, come quelli della vista e dell'udito, non possono tirarsi scintille, nè recarsi scosse; ma bisogna invece ecci-

(1) Per la retta amministrazione dell'elettricità in varii casi può consultarsi con profitto il celebre libro di A. PAEYS VAN-TROOSTWISK e C. R. T. KRAYENHOFF, *Dell'applicazione dell'elettricità alla Fisica ed alla Medicina*, stampato in Amsterdam nel 1788.

tare negli occhi e nel meato uditorio un venticello elettrico con punte di legno.

CAPITOLO IX.

SPIEGAZIONE DE' PRECEDENTI FENOMENI SECONDO L'IPOTESI SYMMERIANA.

4291. Crede SYMMER composto l'elettrico di due fluidi, che neutralizzandosi coll'unione non manifestano alcuna loro proprietà (§. 4201). Benchè diffuso in tutti i corpi, ed accumulato nella terra come suo serbatoio universale; pur nondimeno finchè i suoi componenti restano uniti è in istato naturale, come in questo sono ancora tutti i corpi che lo contengono, e che non danno perciò alcun segno elettrico. Non si mostrano tali segni che allo svilupparsi o separarsi de' componenti dell'elettricismo, a causa dell'accumulamento di uno di essi. Il fluido componente, che accumulandosi produce secondo FRANKLIN i così detti fenomeni di elettricità positiva dicesi *fluido vitreo*, e *resinoso* quello che produce i fenomeni attribuiti all'elettricità negativa. La confricazione, la compressione, il riscaldamento, le chimiche azioni . . . obbligar possono un fluido a separarsi dall'altro (§. 4189). Separati che siano, le parti dell'uno spiegano per quelle dell'altro una fortissima attrazione, ed una non men valida repulsione tra di loro.

4292. Confricandosi scambievolmente due corpi si decompone in entrambi il loro fluido naturale, sviluppansi cioè e separansi i due fluidi che lo compongono;

si cumula in uno il vitreo , nell' altro il resinoso, onde si carica quello di elettricità vitrea e di resinosa questo. Si rende così ragione non solo della carica della macchina elettrica (§. 1202), ma anche del singolar fenomeno che ha luogo quando dato un corpo strofinato e più strofinanti, od al contrario, prende lo stesso corpo or l' una ed or l' altra elettricità (§. 1195). Spiegasi ancora in questo modo come due corpi prendono per mezzo dello strofinio nello stesso grado i due stati opposti, l' uno di elettricità vitrea (positiva), e l' altro di resinosa (negativa).

1293. La repulsione tra le parti di un fluido tende ad allontanarle dal corpo, in cui è sviluppato. Diffondendosi quindi esse sulla sua superficie o equabilmente o colla legge corrispondente alla forma del corpo istesso; e non vi sono trattenute che dalla resistenza dell' aria o di altro coibente che lo circonda (§. 1231). Così in una sfera deferente ed isolata, si diffonde il fluido sulla sua superficie equabilmente; si accumula in uno sferoide in maggior dose sui poli; in un cilindro all' estremità, ed in un corpo aguzzo specialmente sulle punte (§§. 1233-1234).

1294. Se la resistenza dell' aria alla diffusione del fluido supera la pressione di questo su di quella, si trattiene lo stesso sul corpo; ma sen fugge nel caso opposto. Perciò le punte , su cui si cumulano in preferenza i due fluidi, e contro cui non può l' aria agire che debolmente per la picciolezza della loro superficie, facilmente dissipano l' elettricità (§. 1254).

1295. I corpi carichi di fluido omogeneo s'allontanano e quelli carichi d' eterogeneo s' avvicinano per le

ripulsioni ed attrazioni de' fluidi, di cui essi abbondano (§. 1235). Se i corpi che si attraggono sono entrambi coibenti, o se l' uno è coibente e l' altro conduttore ; giunti che siano a contatto restano per qualche tempo aderenti , non potendosi i due fluidi facilmente distrigare ed insieme riunire per ricomporre l' elettricismo ; e continuando così per qualche tempo l' elettrizzazione , l' azione scambievolmente continua pure (§. 1236). Ma se sono entrambi conduttori , il fluido sviluppato colla sua forza ripulsiva fa sviluppare in maggior copia l' omogeneo dai corpi che si appressano , e nella parte più rimota lo spinge. Giunti a contatto i corpi carichi di fluidi eterogenei , questi immediatamente combinansi, e si forma l' elettricismo naturale. Si dà così ragione de' varii movimenti elettrici (§. 1215), e della costruzione degli elettrometri (§. 1241 e seg.)

1296. Quando ad un corpo carico di uno de' due fluidi si avvicina un conduttore nello stato naturale, il fluido di cui è il primo investito forza i due fluidi combinati del secondo a separarsi, repelle il fluido omogeneo nella parte più rimota , e l' eterogeneo attrae nella più vicina; talchè se il primo corpo è carico di elettricità vitrea, respingerà questa il fluido vitreo del corpo avvicinato, ed attrarrà nelle vicine parti il resinoso ; e se all' opposto è carico di elettricità resinosa , caccierà in distanza il resinoso e nelle vicine parti attrarrà il vitreo. Perciò i corpi nello stato naturale immersi nelle atmosfere elettriche prendono elettricità contraria nelle estremità vicine ed omologa nelle lontane (§§. 1205-1206). Dalla stessa causa ripetesi la mutua azione di due corpi, elettrico l' uno , nello stato naturale l' altro

(§. 4208); perchè le due opposte elettricità che sono negli estremi del corpo influente , scambievolmente attraendosi agiscono tra esse. E collo stesso principio spiegasi il fenomeno, che, trovandosi decomposta l'elettricità naturale de' corpi immersi nelle atmosfere elettriche, restano i corpi elettrizzati, se dopo l'influenza non si può in qualunque modo operare in essi la ricomposizione dei due fluidi (§. 4211).

1297. Se poi i due corpi che si accostano sono carichi di fluidi eterogenei, si neutralizzano questi combinandosi in tutto o in parte , ed i fenomeni che producevano per conseguenza s' indeboliscono; come all' opposto s' invigoriscono se i corpi avvicinati sono carichi di fluidi omogenei, perchè aumentandosi in tal caso la forza ripulsiva, nuova quantità si decompone di fluido naturale. S' intende quindi perchè avvicinando ai pendolini aperti il vetro e la ceralacca strofinati, riconoscer si possa la qualità del loro elettricismo (§. 4206).

1298. Le reciproche azioni de' due fluidi si esercitano anche attraverso de' corpi che sono per essi impermeabili. Se un disco metallico carico di elettricità vitrea si accosta ad una delle superficie di una sottile lamina coibente , ed un disco carico di elettricità resinosa all' altra; le due elettricità si attrarranno attraverso la lamina coibente, ed accidentalmente si compenseranno, e scomparendo per tal compensazione i segni elettrici, si avrà secondo SYMMER la così detta *elettricità dissimulata*, e secondo le circostanze cumular potranno ne' due dischi copiosissime elettricità; come contrarii effetti si otterrebbero se carichi fossero i due dischi di eguale elettricità (§. 4218).

1299. Si spiegano con questi principii i fenomeni dell' elettroforo, del condensatore, e della bottiglia di Leida. Il fluido cumulato nel disco coibente dell' elettroforo decompone l' elettricismo del piatto; e ne repelle al suolo il fluido omogeneo, onde resta l' altro libero nel piatto, che rimane perciò elettrizzato in modo diverso dal disco (§. 4220).

1300. In pari modo la poca elettricità raccolta nel piatto collettore del condensatore respinge nel suolo il fluido omogeneo della contigua superficie del disco semicoibente; vi richiama e vi fissa l' eterogeneo. Il fluido ivi raccolto decomponendo un' altra parte dell' elettricismo naturale del sistema de' corpi in comunicazione col piatto, richiama in questo nuova dose di fluido eterogeneo. Attraendo questa dell' altro fluido sulla superficie del corpo semicoibente, che altrettanto ne attrae dal sistema de' corpi sul piatto collettore, si raccoglie così in questo gran quantità di fluido, che resta come neutralizzato od indebolito dall' azione del fluido eterogeneo del corpo semicoibente, finchè gli è vicino, e non produce i suoi effetti che dopo d' essersene allontanato (§. 4222).

1301. Nella stessa maniera finalmente l' elettricità che s' introduce nella boccia di Leida (supposta vitrea) decompone per influenza il fluido naturale della superficie esterna, ne repelle il vitreo e vi fissa il resinoso, che per la sua reciproca attrazione fissa il vitreo nella interna; e tutto ciò precisamente come nel condensatore. Mettendosi le due superficie in comunicazione, i due fluidi cumulati si precipitano l' uno sull' altro colla massima celerità, ed attraversando rapidamente l' arco con-

duttore , se in questo è compreso un animale gli fan sentire una forte scossa , dando luogo a tutti gli altri fenomeni altrove indicati. Può anche avvenire che il fluido naturale dell' arco conduttore repentinamente si decomponga e si renda la scarica efficace per la rapidità con cui ognuno de' componenti si porta su quella superficie della boccia, in cui l' altro rattrovasi (§. 1262 e seg.).

1302. Esaminandosi imparzialmente le due ipotesi , sembra che la Frankliniana sostenuta tuttavia in Inghilterra e nella maggior parte dell' Italia sia più semplice della Symmeriana abbracciata dai Francesi. Prescindendo infatti dalle obbiezioni di poco momento , che può quest' ultima soffrire , è chiaro 1.° d' esser affatto gratuita , perchè non legittimamente dedotta dai fatti , la distinzione del fluido elettrico in vitreo e resinoso , ognun de' quali esattamente agisce nello stesso modo , producendo i medesimi effetti : 2.° di aversi ricorso contro i canoni logici a due principii e due operazioni per render conto di fenomeni che ben si spiegano con un solo principio e con una sola operazione ; ammettendosi due fluidi , il loro sviluppo , e la loro attrazione o ripulsione per dar ragione di fenomeni che possono dedursi da un solo fluido elastico , che si addensa o rarefa per un semplice giuoco di attrazione : 3.° di non esser tanto probabile che una debole azione meccanica , come la confricazione , il riscaldamento decomponga una forte combinazione : 4.° non intendersi perchè mentre il fluido vitreo è unito al resinoso , lo abbandoni poi per unirsi a quello di un' altra massa da lungi agente , contro ogni legge di attrazione , e specialmente contro

quelle delle chimiche composizioni e decomposizioni : 5.° non comprendersi neanche perchè attesa la scambievole attrazione de' due fluidi non si combinino e neutralizzino nel loro incontro quando passa l'uno dalla macchina nella catena , e da questa in quella l'altro; e quando sviluppati entrambi dalla confricazione passa l'uno nel corpo confricato e nel confricante l'altro: 6.° dover esser carica di elettricità resinosa la faccia del disco della macchina , rivolta al conduttore, in cui cumulasi la vitrea, ed al contrario: 7.° la scarica elettrica urtando una fiammella ed un mobile globetto, spingere l'una o l'altro dal lato positivo al negativo (§. 1278); e mettendosi del fosforo in due globettini metallici e tra essi una fiammella , nell' attraversarsene il complesso dalla scarica elettrica non accendersi che quello sito nel globetto corrispondente alla parte negativa, a cui dirigesì secondo FRANKLIN l' unica corrente: 8.° balzar la scintilla più facilmente ed a maggior distanza quando partita da una punta incontri un piano , che all' opposto: facendosi balenare infatti una scintilla tra l' una e l' altro , si scaglia essa con maggior facilità ed a maggior distanza quando la punta è positiva che quando è negativa; il che comprueva partir la scintilla dal positivo per andare al negativo : 9.° il fiocco luminoso prodotto dalla corrente elettrica quando spiccasi da una punta apposta al conduttore positivamente elettrico (§. 1257), e la lucida stella che comparisce all' estremità di una punta accestata ad un conduttore similmente elettrizzato (§. 1257), compruovare la direzione dell' unico fluido, irraggiantesi nel primo caso, e concentrantesi nel secondo : avvicinato infatti ad una

bottiglia di Leida elettrizzata un arco scaricatoio acuminato negli estremi, sulla punta corrispondente all'armatura positiva si osserva una stella luminosa ed un fiocco lucido sull'altra, apparenze comprovanti il passaggio dell'elettrico dall'armatura positiva allo scaricatoio e da questo alla negativa, contro l'obbiezione di apparire il fluido vitreo con luce irraggiante ed il resinoso sotto l'aspetto di stella; poichè tendendo entrambi egualmente l'uno verso l'altro dovrebbero con egual tensione vincere la resistenza o coibenza dell'aria, irraggiarsi, ed apparir quindi luminosi: 10.º ramificarsi le voluminose scintille ottenute da VAN-MANUM sin dal 1784, e nel 1819 colla famosa macchina costruita a grandissime dimensioni pel museo Teyleriano in Olanda, comporsi cioè, di un grosso filo principale di materia luminosa, e staccarsene lateralmente de' rametti che facendo con esso angoli sempre acuti sono costantemente diretti in ogni circostanza dalla parte positiva alla negativa: 11.º secondo gli esperimenti di COUGH e di PICTET (§. 1278) costituirsi la scarica da una sola corrente diretta dalla superficie positiva alla negativa, anzicchè da due correnti mosse in senso opposto (1).

1303. Per abbattere i Symmeriani la forza di questi ultimi esperimenti opinano di esser l'aria più resistente contro l'elettricità resinosa o negativa, che contro

(1) Per un più dettagliato paragone delle due ipotesi consultare si può con profitto il dotto *Discorso sulle due ipotesi Frankliniana e Symmeriana*, premesso dal Professor SILVESTRO GHERARDI alla sua traduzione del *Trattato dell'Elettricità dinamica* di DEMONFERRAND, Bologna 1825.

la vitrea o positiva , onde la corrente positiva facendo sulla carta più lungo cammino della negativa l'incontra sulla punta comunicante coll'armatura negativa della bottiglia; istituendosi infatti l'esperimento nell'aria rarefatta, resta la carta bucata quasi ad una media distanza dalle due punte metalliche. A questa opinione così provata si oppongono le seguenti osservazioni del dotto Professor GENNI: 1.° Se resistesse l'aria più all'elettricità negativa che alla positiva, dovrebbe quella dissiparsi più difficilmente di questa , il che non avviene, avendo provato COULOMB con decisivi esperimenti, che nelle medesime circostanze si dissipa nell'aria l'elettricità negativa con eguale facilità e prontezza che la positiva. Da quello infatti del 28 maggio, riportato da DESPRETZ nel suo *Trattato di Fisica* (Tom. 1.° n. 302) risulta d'essersi dissipata l'elettricità da una palla di ceralacca tanto facilmente quanto da una palla di rame e di scambuco; mentre quella dissipata dalla prima era negativa, e per la somma coibenza della ceralacca avrebbe dovuto dissiparsi con maggiore difficoltà di quella del rame, ottimo tra i conduttori: 2.° Il vario sito del foro a nulla monta se segue lo sperimento nell'aria rarefatta. È mossa la corrente a forar la carta più o meno alto dalla forza , con cui tende a portarsi sulla punta della superficie opposta a quella su cui trascorre , e dall'azione di questa punta contro la corrente. Or questa forza e quest'azione, a cose altronde eguali, dipende dalla intensità della corrente, talchè fora questa la carta più presso o più lungi dalla punta secondocchè è più o meno intensa, più o meno cioè copiosa di fluido. Ma la corrente la è più quando si eccita nell'aria

rarefatta, perchè in questa in egual tempo si stacca dai corpi maggior quantità di fluido; dunque nell'aria rarefatta deve il foro esser più alto che nella densa.

1304. Cercando di spiegare questo fatto ha opinato OERSTED di non subire l'elettricità alcun moto di traslazione sui corpi, ma solo di vibrazione, pel quale si eccitano intorno ad ogni molecola più decomposizioni e successive ricomposizioni. Così il fluido vitreo, dice egli, che si presenta alla punta corrispondente all'armatura vitrea della boccia decompone i fluidi naturali delle molecole che incontra, attira il resinoso col quale si ricombina con iscintillamento, e repelle il vitreo, che egualmente decompone i fluidi naturali delle seguenti molecole, attira il resinoso per ricombinarvisi con novella scintillazione, e repelle il vitreo, e così di seguito; talchè si hanno tante scintille quante sono le molecole della materia ponderabile. In prova di questa opinione si fa attraversare la scarica elettrica da molte sferette metalliche infilate ad un filo di seta e separate le une dalle altre; esperimento analogo al riferito per le apparenze luminose elettriche (§. 1258). Benchè l'autore di quest'altra opinione ispiri la più alta stima, e siasi quella adottata da uno de' primi fisici viventi, il chiarissimo POUILLET (1); pur'è d'uopo confessare esser necessaria la più fervida immaginazione per attribuire la velocissima scarica elettrica non al reale passaggio di un fluido mobilissimo da un corpo all'altro, ma a più successive composizioni e decomposizioni. Oltre le molte possibili opposizioni in proposito re-

(1) *Élémens de Physique*, etc. §. 377.

sta sempre a spiegare, perchè gli orli del foro sian prominenti dalla parte negativa, cioè del fluido resinoso; mentre nessuna prominenza dovrebbe osservarsi, qualunque supposizione vogliasi ammettere dai seguaci di SYMMER.

1305. Altro essi addurre non possono in favore della loro ipotesi che la più facile spiegazione di taluni fenomeni, e l'elegante applicazione del calcolo a quella di tutti gli altri. Ma di queste due circostanze non basta la prima ad autorizzare l'adozione di una ipotesi, e la seconda non la giustifica appieno, essendosi prestata al calcolo anche la prima ipotesi per le cure di EPINO, di CAVENDISH, e specialmente di ROBISON, che non ha guari ha riprodotto algebricamente con molta semplicità i risultati ottenuti da questi autori, ed esteso le sue formole ai più importanti fatti dopo di essi avvenuti. Benchè i lodati Fisici abbian supposto nei loro calcoli che le particelle del fluido elettrico dotate sieno non solo di attrazione per la materia in generale, ma anche di ripulsione tra di esse; e per determinare le condizioni d'equilibrio tra queste forze abbian supposto che tutte le particelle della materia si repellano, il che si opporrebbe alla gravitazione universale; pure è d'uopo avvertire, che prescindendo da queste considerazioni si può benissimo spiegare, sia positivamente sia negativamente, la ripulsione de' corpi elettrici con una attrazione in parte opposta, come si è altrove dichiarato (Lib. X. cap. IV.). Di questa idea cennata da VAN-SWINDEN nel 1784 è convenuto ultimamente BREWSTER nelle sue note al *Sistema di Filos. Mcc.*

di ROBISON. E quand' anche questa ripulsione bisognasse ammettersi in qualche caso , l' ipotesi Frankliniana sarebbe sempre più semplice della Symmeriana.



LIBRO UNDECIMO

DELL' ELETTRICITA' DINAMICA.

CAPITOLO I.

SPERIMENTI GALVANICI.

1306. Il celebre Anatomico Napolitano DOMENICO CORUGNO morso una sera da un topo all'estremità di una gamba, portandovi la mano prese l'animale, e mentre anatomizzandolo toccava il coltello il nervo diaframmatico, sentì una commozione elettrica sì forte che ne fu intormentita la mano. Divulgato questo avvenimento dal *Giornale Enciclopedico* di Bologna nel 1786, fece credere a VASSALLI di accumularsi l'elettricità in qualche parte del corpo animato per servire alle segrete mire della natura. Dando luogo questa opinione agli esperimenti del Professore LUIGI GALVANI di Bologna sulle ranocchie elettrizzate ed in comunicazione coi metalli, le contrazioni muscolari così ottenute produssero alla fine dello scorso secolo un nuovo ramo di Fisica, che sotto il nome di *Galvanismo* richiamò l'attenzione di tutti i dotti di Europa.

1307. Scorgendo il Professore di Bologna che immersa nell'atmosfera del conduttore elettrizzato una ranocchia di recente decorticata, scuotevasi violentemente quando da quello tiravasi la scintilla, giunse a sco-

prire che infilata pel dorso ad un gancetto di rame contraevasi e si scuoteva ogni volta che il gancetto e qualche parte di essa mettevansi ad un tempo in contatto del ferro. Richiamata la sua attenzione da questo fenomeno, dietro molti sperimenti all'uopo istituiti, opinò di eccitarsi nelle rane di fresco morte le contrazioni convulsive quando una parte di qualche loro organo nervoso era ad un tempo toccata in due punti da diversi metalli contigui (1).

1308. Per meglio osservare tali contrazioni si recide il corpo della rana, non ritenendone che le gambe posteriori attaccate ad una parte od a tutta la spina dorsale; decorticata poi, se n' estraggono gli intestini per scoprire e denudare i nervi crurali. Poggiati questi su di una foglia di stagno A (Tav. 47 fig. 26) ed i muscoli delle gambe su di una lamina d' argento o d' altro metallo B, si mette un arco di rame C sullo stagno ed un altro D sull' argento, ed appena ch' essi toccansi in CD, le gambe dell' animale muovonsi fortemente convellendosi. In questo esperimento i nervi, i muscoli, le foglie di stagno e di argento, e l' arco di rame costituiscono una circonferenza divisa in due archi, uno dei quali costando degli organi dell' animale dicesi *arco animale*, e l' altro formato dai metalli nomasi *arco eccitatore*. Risultando quest' ultimo da più pezzi, quelli di essi, come lo stagno e l' argento, che vestono i muscoli ed i nervi chiamansi *armature*, e gli altri, come il rame, che mettono per mezzo di queste in comunicazione i

(1) ALOYSII GALVANI, *De viribus electricitatis in motu musculari*, Comment. Bononiae 1791.

muscoli ed i nervi, diconsi *comunicatori*. Le convulsioni infine eccitate negli organi dell' animale diconsi *contrazioni galvaniche*, e l' animale a cui si procurano coi metalli denominasi *galvanizzato* dal nome del primo sperimentatore.

1309. Ripetendo egli questi effetti da un fluido elettrico proprio degli animali, detto perciò *elettricità animale*, o *fluido galvanico*, elaborato e conservato nel cervello; riguardò i nervi come mezzi della sua distribuzione ne' muscoli credendone conduttrice la sostanza midollare, ed attribuendo al loro nevriema la proprietà isolante. Accumulato quindi il fluido nella sostanza muscolare, condensato nell' interno e rarefatto sulla superficie, equilibrandosi per mezzo de' nervi e dell' arco metallico produce i convellimenti al pari dell' elettrico comune, che, equilibrandosi attraverso i conduttori animati nella boccia di Leida, scuote.

1310. Fu questa ipotesi modificata da VALLI e da VOLTA. Opinò il primo risedere l' elettricità positiva nella superficie, la negativa nella sostanza muscolare. Dedusse il secondo da un suo sperimento di riseder quella ne' muscoli e questa ne' nervi, per essersi eccitate le contrazioni nella ranocchia avvicinandosi la superficie positiva di una boccia di Leida leggermente carica al nervo e la negativa al muscolo, e non al contrario. Ma avendo poco dopo verificato possibili le contrazioni nelle rane ed in altri animali quando essendo le armature sul solo nervo o muscolo l' arco eccitatore non mette in comunicazione il luogo del supposto eccesso con quello del supposto difetto; inferì di non potere il nervo servir di veicolo all' elettricità tendente ad equilibrarsi tra l'

superficie e la sostanza del muscolo, nè potere ricever da questo l'elettricità soprabbondante.

1311. Rigettando quindi nel 1792 l'ipotesi dell'elettricità animale, sostenne di prodursi i fenomeni galvanici dalla elettricità comune, da una corrente cioè di fluido elettrico spinta attraverso degli organi animali da una speciale azione de' metalli eterogenei costituenti l'arco eccitatore. Si confermò egli in questa opinione vedendo che posti in contatto due metalli eterogenei isolati, si elettrizzano diversamente; e separati si mostra l'uno elettrizzato positivamente e negativamente l'altro; e ravvisando di non poter sussistere la supposta parità colla bottiglia di Leida (§. 1308), e di ottenersi egual corrente elettrica ed eguali fenomeni senza l'intervento di parti animali e col solo contatto di due diversi metalli con qualunque corpo umido, e finanche colla semplice acqua. Convinto in fine di esser elettrici i fenomeni galvanici dalla trasmissione della corrente che li produce, impedita dalle sostanze isolanti; inferì di non prodursi negli esperimenti galvanici i moti convulsivi che dal fluido elettrico, il quale mosso dall'arco eccitatore attraversa gli organi delle ranocchie stimolando i nervi che incontra, e quelli specialmente de' muscoli inservienti ai moti voluntarii. Non sono dunque secondo questa idea gli organi animali in tali esperimenti che meramente passivi; non servono che a far passare il fluido elettrico; e funzionando da elettrometri sommamente sensibili, indicano le più tenui dosi di elettricità, di cui non danno alcun indizio i più squisiti strumenti. I nuovi esperimenti a cui l'urto di queste opinioni ha dato luogo, non han servito che a comprovare sempre più l'opinione di Vol-

ra, mettendo fuori dubbio di eccitarsi l'elettricità dal contrasto de' metalli e de' corpi eterogenei. Arricchita così la fisica della nuova teoria della elettricità per contatto, ha questa notabilmente influito sul progresso delle altre parti della vasta scienza de' corpi.

CAPITOLO II.

DEGLI APPARATI ELETTROMOTORI.

1312. Non giunse il celebre Fisico di Como all'importante scoperta che per mezzo dell'esperienza. Messe a contatto la superficie di due dischi forniti di manico isolante, uno di zinco e l'altro di rame, ed indi perpendicolarmente separati; avendone esplorato lo stato coll'elettroscopio, riconobbe elettrizzati i metalli, lo zinco però positivamente ed il rame negativamente. Essendo questa elettricità di contatto debole al punto da far divergere le pagliuzze dell'elettroscopio (§. 1242) appena di $\frac{1}{6}$ di grado, combinò con questo strumento il condensatore (§. 1243), e ripetendo per più di venti volte il saggio di mettere in contatto i due dischi di rame e di zinco, e toccare ad ogni contatto il piattello raccoglitore del condensatore, ebbe segni piucchè evidenti di elettricità positiva dallo zinco e negativa dal rame.

1313. Convinto VOLTA di prodursi l'elettricità dalla semplice sovrapposizione dei due metalli, ma incerto della causa di questo effetto, riposta nel semplice contatto oppure nella pressione dell'uno sull'altro metallo; per assicurarsene saldò insieme per le superficie i due dischi; e messa a prnova la lamina composta, tenendo

in mano lo zinco e toccando col rame il piattello collettore anche di rame, osservò che i pendolini balzavano come prima per elettricità negativa, onde conchiuse di essere l'elettrizzamento de' metalli un effetto del loro contatto. Mancando però ogni segno di elettricità quando tenendo in mano il rame della lamina toccava con lo zinco il piattello di rame del condensatore, soprappose a questo una carta bagnata, e toccò questa non già il rame del condensatore. Avendo così de' segni di elettricità positiva dallo zinco come ne' primi sperimenti, più non dubitò di eccitarsi dal contatto de' due metalli elettricità, positiva nello zinco e negativa nel rame. Chiamò quindi *forza elettromotrice* l'attitudine de' due corpi a caricarsi di elettricità opposta, ed *elettromotori* i due metalli. A spiegare l'inutilità della carta bagnata nel toccare col rame della lamina il piattello del condensatore per aver segni elettrici, e la necessità di questo corpo umido per averli nel toccare collo zinco il rame del condensatore, opinò VOLTA, che il rame della lamina, essendo negativamente elettrico pel permanente contatto collo zinco, può rimettersi nello stato naturale dall' elettricità del rame del condensatore, ed elettrizzar questo negativamente, potendosi rame e rame comunicare, e non eccitare pel contatto, elettricità; non così con lo zinco, imperciocchè con quanta forza il fluido accumulato in questo metallo si spinge verso il piatto di rame, con altrettanta tende a passare nello zinco il fluido dello stesso piatto per la forza sviluppata nel contatto; che in tal caso cioè, si costringe l' elettricità a svolgersi dall' uno e dall' altro rame con forze eguali e contrarie, il di cui equilibrio non dà luogo ad alcuna

produzione di elettricità. Ma frapponendosi tra il pezzo di zinco ed il piattello una carta umida, lo zinco non più messo tra rame e rame, comunica la sua elettricità alla carta, che la trasmette al condensatore.

1314. Questo celebre Fisico conobbe poi la facoltà elettromotrice non solo tra rame e zinco, ma anche tra tutti gli altri metalli, come tra argento e zinco, tra rame ed argento, tra rame e ferro, tra stagno e piombo ec. Riconosciuta indi la stessa facoltà da altri Fisici nella piombaggine, nei carboni, nello schisto carbonoso, ne' solfuri, nelle sostanze animali, come nervi, muscoli e simili, si è estesa a tutti i corpi; convenendosi ora generalmente che tutti i corpi eterogenei messi in contatto producono lo stato elettrico. Varia però l'intensità della forza elettromotrice secondo la natura delle sostanze. Nella seguente serie i metalli sono disposti secondo l'ordine della loro tendenza a prendere l'elettricità positiva o negativa; di modo cioè che ciascuno di essi è positivo relativamente a quello che lo segue, negativo con quello che lo precede.

Antimonio	Arsenico	Ferro
Zinco	Piombo	Palladio
Oro	Stagno	Platino
Rame	Argento	Niccolo
Ottone	Manganese	Mercurio
Rodio	Cobalto	Bismuto

1315. Lo stato elettrico adunque positivo e negativo di due elettromotori in contatto è tanto più energico, quanto più distano essi nell'ordine di efficacia. Sono

dunque le combinazioni di zinco e rame , di zinco ed argento, di zinco e ferro le più efficaci , e pochissimo quelle di zinco ed oro , o di stagno ed argento. Inoltre lo stato positivo o negativo di un corpo non è costante , ma varia coi corpi con cui è in relazione ; così il rame collo zinco e coll' antimonio prende elettricità negativa , e coll' argento positiva ; il ferro col platino è elettrico in più collo stagno è in meno ; lo stagno è col ferro in istato positivo , e col piombo in negativo. È infine la facoltà elettromotrice debolissima e quasi insensibile nei liquidi, in contatto tra essi o con i metalli; all' infuori de' solfuri alcalini che in contatto de' metalli la mostrano energica. Si riguardano perciò da VOLTA i liquidi come *elettro-conduttori*, facoltà non in tutti eguale; l' acqua infatti unita cogli acidi , o tenendo in soluzione de' sali conduce l'elettricità molto più dell' acqua pura, sì imperfetta nel condurre, che più non si annovera fra le sostanze conduttrici.

1316. Riuscì agevole per questi fatti a VOLTA, l' aumentare col ragionamento e coll' esperienza lo stato elettrico de' metalli in contatto. Saldò egli nelle superficie due dischi, uno di rame e l' altro di zinco; e mettendo su d' una tavola comunicante col suolo il disco di rame , soprappose a quello di zinco un cartone bagnato. Mise su questo una seconda coppia nello stesso modo situata , cioè col rame verso il suolo , e sullo zinco di questa appose un secondo cartone bagnato. Collocò su questo una terza coppia, e così in prosiegua (Tav. 18 fig. 1). Or è chiaro per quanto si è dianzi esposto, di essere il disco di zinco della prima coppia positivamente elettrico pel contatto col disco di rame; di essere la

seconda coppia, sovrapposta al cartone bagnato, conduttrice ed eccitatrice insieme dell'elettricità; di prendere nel primo senso il suo disco rame per mezzo del cartone bagnato elettricità positiva dal disco zinco della prima coppia, e trasmetterla al suo disco zinco; e di eccitare nel secondo senso pel contatto tra rame e zinco elettricità positiva nel disco zinco. Adunasi quindi nel disco z della seconda coppia una dose di elettricità positiva, doppia di quella che trovasi nel disco z della prima coppia. Ed alternandosi così di mano in mano cartone bagnato e coppie di rame e zinco, si forma un apparato, ossia una *colonna*, di cui si aumenta lo stato elettrico col numero delle coppie sovrapposte. Dicesi esso *elettromotore*, e dal nome dell'inventore *pila* o *colonna di Volta*; e chiamansi i suoi estremi, *polo zinco* o *positivo* l'uno, e *polo rame* o *negativo* l'altro, terminando questo col disco di rame, e quello col disco di zinco.

1317. Suppose VOLTA e provò COULOMB colla bilancia elettrica, che l'eccesso dell'elettricità dello zinco sul rame è costante, siano, o no, nello stato naturale. Or ammesso questo principio e che le sostanze umide poste tra le coppie siano perfettamente conduttrici; è facile conchiuderne, che nella prima coppia dell'apparato elettromotore l'elettricità dello zinco sia $+1$, e quella del rame, che dovrebb'essere -1 , sia $=0$; perchè comunicando col suolo, ne riceve una quantità di fluido che lo rende allo stato naturale (1). Per la se-

(1) L'elettricità positiva o vitrea di SYMMER s'indica col segno $+$, e la negativa o resinosa col segno $-$; lo stato naturale poi di un disco riguardo all'elettricismo dinotasi collo zero.

conda coppia sarà nel rame 1, e nello zinco 2; per la terza nel rame 2, e nello zinco 3, e così in appresso; onde formasi ne' dischi di zinco una progressione per differenza, 1, 2, 3, 4 . . . ed altra simile in quelli di rame, 0, 1, 2, 3 . . . supponendo quindi composta una pila di cinque coppie, dette *elementi*, lo stato elettrico di ognuna di esse sarà come segue: $r\ 0\ z\ 1: r\ 1\ z\ 2: r\ 2\ z\ 3: r\ 3\ z\ 4: r\ 4\ z\ 5$. Ed aggiungendo le due progressioni, si ha per i dischi $z\ 1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 15$, e per i dischi $r\ 0 + 1 + 2 + 3 + 4 = 10$, la di cui somma è $15 + 10 = 25 = 5^2$ (1). Volendosi quindi conoscere tutta la carica, cioè la quantità del fluido racchiuso in tutto l'apparato, non si deve che elevare a quadrato il numero degli elementi, eguagliando questo prodotto tutta la carica della pila. Or se lo stato elettrico di questa si esprime dalla progressione per differenza, la tensione dell'ultimo elemento risulta proporzionale al numero degli elementi stessi e non alle loro dimensioni.

1318. Se la colonna, lungi dal comunicare col suolo, è isolata, vi si dispone l'elettricità diversamente. Dovendo essere positiva l'elettricità dello zinco della pri-

(1) Chiamando n il numero degli elementi della pila, la tensione dell'elettricità ne' successivi dischi di zinco sarà $n, n - 1, n - 2, \dots, 1$, la di cui somma $= n \left(\frac{n+1}{2} \right)$, e nei dischi di rame sarà $n - 1, n - 2, n - 3, \dots, 0$, la di cui somma $= n \left(\frac{n-1}{2} \right)$; onde aggiunte queste due somme ne risulta la totale $= n^2$ esprimente tutta la carica dell'apparato.

Fis. VOL. II.

ma coppia , e negativa quella del rame (§. 1316), o l'eccesso dell' una sull' altra sempre $= 1$, ossia costante (§. 1317); nel disco r della prima coppia l'elettricità sarà $-\frac{1}{2}$, e nel disco $z + \frac{1}{2}$. Messo su questo un cartone bagnato , e sovrappostovi il disco di rame r' ; lo stato elettrico della prima coppia cangiar devesi per far sussistere l'equilibrio; onde il disco z per mezzo del cartone, funzionante da conduttore, ceder deve una porzione del suo fluido al disco r' ; e contenendo $z + \frac{1}{2}$ di fluido, sembra doverne cedere $\frac{1}{4}$ ad r' . Se così fosse , lo stato elettrico del disco di rame r sarebbe $-\frac{1}{2}$, e quella del disco di zinco $z + \frac{1}{4}$; ma la differenza di questi due stati eguagliar deve l'unità , e la somma dell' elettricismo dei tre dischi metallici eguagliar zero , perchè essendo nello stato naturale furon posti nella mutua influenza sul piano isolante ; fra questi tre corpi dunque stabilir devesi una nuova distribuzione di fluido , per cui l' elettricismo del disco r sarà $-\frac{1}{3}$, e quello del disco $z + \frac{1}{3}$, onde la differenza di entrambe le elettricità sia $= 1$; il disco r' prenderà una elettricità di $+\frac{1}{3}$, eguale cioè a quella dello zinco , con cui comunica per mezzo del cartone ; verificandosi così la seconda condizione, che la somma cioè dell' elettricismo dei tre dischi risulti $= 0$. Ma soprapponendosi realmente al cartone , non il solo disco di rame r' ma tutta la coppia di rame e zinco ; l'elettricità del rame r della prima coppia sarà -1 , e quella dello zinco $= 0$, e la loro differenza $= 1$; il rame r' della seconda coppia avrà 0 , e lo zinco $z' + 1$, ed anche la differenza di questi due dischi sarà $= 1$, ond' è chiaro di essere l'elettricità della colonna sempre $= 0$. Quando la coppia è

unica, la somma delle due elettricità — $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 0$; se alla prima coppia si aggiunge un disco di rame, la somma dell' elettricità — $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 0$; e se infine son due le coppie, la somma — $1 + 0 + 0 + 1 = 0$. E crescendo così di mano in mano le quantità di elettricità coi dischi, la loro somma sarà sempre $= 0$; poichè, non comunicando l'apparato col suolo, trar deve da se stesso l'elettricità, quella cioè che avea la colonna nello stato naturale, e che era espressa da 0.

1319. Supponendo composta la pila di otto elementi, lo stato elettrico de' dischi sarà il seguente: $r = 4z$ — 3 : $r = 3z$ — 2 : $r = 2z$ — 1 : $r = 1z$ — 0 : $r + 0z + 1$: $r + 1z + 2$: $r + 2z + 3$: $r + 3z + 4$. Qualunque sia quindi il numero delle coppie, la somma delle due progressioni è sempre $= 0$; sonovi tanti dischi superiori positivi, quanti inferiori negativi; il primo disco inferiore r e l'ultimo superiore z sono in due stati eguali ed opposti di elettricità; due dischi presi ad egual distanza dalle estremità sono anche egualmente ed in senso inverso elettrizzati; e diventa nulla l'azione prima del passaggio dall'elettricità negativa alla positiva, essendovi sempre fra questa serie di dischi sovrapposti, due nello stato naturale. Or scorgendosi dalla precedente disposizione di essere la tensione negativa del primo disco di rame e la positiva dell'ultimo disco di zinco $= 4$, metà di 8, numero delle coppie componenti la pila in esempio; per la generalizzazione del principio può conchiudersi che lo stato elettrico di una pila isolata eguaglia il quoziente della divisione del numero delle coppie per 2 (1).

(1) Essendo n il numero delle coppie ed x la tensione del

1320. Ecco quello che realmente si verifica esplorando lo stato elettrico della pila mediante l'elettrometro. Se saldati due fili metallici, detti *reofori*, ai dischi rame e zinco delle due estremità, si tenga uno di questi colla mano destra, e si tocchi l'altro colla sinistra, si prova una più o men violenta commozione; e se si avvicinano le estremità di questi due fili o reofori, balenerà la scintilla elettrica tra l'uno e l'altro, analogamente a quanto ha luogo nella boccia di Leida (§. 1262); colla differenza però che colla boccia si ottiene una sola forte scintilla, mentre quivi invece si hanno numerosissime scintille ripetendo i contatti. Ciò prova ad evidenza, che mentre dura la comunicazione fra i due dischi estremi, ossia fra i due poli della pila si verifica un continuo comechè tacito circolare di elettrico tra il polo positivo ed il negativo, stante la continua azione dell'apparato elettromotore. In tale

fluido nel polo zinco, la progressione dei dischi di zinco sarà $x, x-1, x-2, \dots, x-(n-1)$, la di cui somma = $nx - \frac{n \cdot n - 1}{2}$. Quella poi dei dischi di rame sarà: $x -$

$1, x-2, x-3, \dots, x-n$, la di cui somma = $nx - \frac{n \cdot n + 1}{2}$.

Aggiungendosi le due somme, si avrà $2nx - n^2$, che rappresentando tutta l'elettricità naturale della colonna isolata, risulterà $2nx - n^2 = 0$; d'onde $x = \frac{n}{2}$. Ed essendo nel

polo rame l'elettricità $x - n = \frac{n}{2} - n = -\frac{n}{2}$, la quantità dell'elettricità ne' due poli è eguale, ma positiva nello zinco $+\frac{n}{2}$ e negativa nel rame $-\frac{n}{2}$.

stato *dinamico* la elettricità prende il nome di *corrente*.

1321. L' elettrometro , che segna lo stato elettrico della pila allorchè gli estremi di essa, ossia i due poli non comunicano fra di loro , non è più atto ad accennare la presenza della corrente che si stabilisce, quando i poli sono riuniti da un arco o filo metallico, giacchè in tal caso cessa lo stato di elettrica tensione. La presenza della elettrica corrente è valutata da un' altro apparato detto *galvanometro* o *moltiplicatore*. Se ne darà la descrizione in luogo più opportuno ; ma intanto giova ridurne il concetto ad un ago calamitato sospeso al di sopra di un filo metallico orizzontale, che si supponga parallelo al medesimo. Si vedrà esser legge dell' azione tra l' ago ed il filo , allorchè questo conduce la corrente elettrica , che l' ago tende a porsi in direzione perpendicolare al filo medesimo , oscillando più o men celeremente, a seconda della quantità dell' elettrico che lo sollecita. Or l' uso di questo delicato apparato, reso poi più perfetto dall' illustre Cav. NOBILI, contribuì non poco a chiarire sulle particolarità dei fenomeni voltaici , ed a stabilire una teoria ben diversa da quella precedentemente esposta intorno ai medesimi.

1322. Infatti la forza elettro-motrice ammessa dall' illustre VOLTA per dar ragione della elettricità svolta dal suo piliere, è stata affatto negata da FABRONI , da WOLLASTON, da PARROT, da DE LA RIVE, ec., i quali ne ripongono la causa nell' azione chimica che accompagna quel fenomeno. Sonosi quindi moltiplicati gli esperimenti in favore dell' una e dell' altra opinione ; e pregevoli sono quelli istituiti dal benemerito Professore di Modena Cav. MARIANINI per convalidare la teo-

rica dell'immortale Fisico di Como. È indubitato però che l'azione chimica che si produce sugli elementi della pila concorre potentemente allo sviluppo della elettricità. Al contrario è molto dubbioso che il contatto de' metalli eterogenei sia una qualche cosa nella produzione delle correnti elettriche. I fisici che ammettono questi effetti del contatto, sono obbligati almeno di convenire che la quantità di azione che ne proviene è eccessivamente limitata; talchè se appena possonsi per il solo contatto ottenere correnti infinitamente piccole, gli effetti dovuti all'azione chimica sono sommamente energici. Se la forza elettro-motrice fosse la causa della elettricità della pila, una pila composta di due metalli dovrebbe avere i suoi poli siti sempre nello stesso modo, qualunque sia il liquido interposto; mentre ha luogo tutto il contrario: la disposizione dei poli varia, e dessa è in relazione coll'azione chimica che si produce (1).

1323. Nella seguente serie FARADAY ha disposto i metalli in modo che essi sono positivi in rapporto a quelli che li precedono, negativi in rapporto a quelli che

(1) Dicesi *facoltà elettromotrice relativa*, od *elettrotismo*, l'attitudine che hanno i conduttori elettrici di concepire elettricità positiva o negativa quando sono uniti ad altri in modo da formare una coppia voltiana. Dicesi esser questa facoltà maggiore in quello dei due corpi accoppiati, il quale si elettrizza negativamente, minore nell'altro; e per conseguenza dicesi, che questa facoltà è cresciuta in un corpo, quando esso si elettrizza negativamente a contatto di un'altro con una tensione maggiore di prima, e che essa è diminuita nel caso contrario. ZANTEDESCHI *Trattato del Magnetismo e della Elettricità*. Venezia 1844 vol. 1 p. 361.

li seguono. Dei numeri d'ordine son piazzati d'innanzi ai metalli nella prima serie; questi stessi numeri rapportati d'innanzi a ciascun metallo nelle susseguenti serie, dimostrano chiaramente in qual modo i loro rapporti elettrici si cangiano per l'azione dei liquidi.

Acido Nitrico diluto	Acido Solforico diluto	Acido Cloridrico	Acido Nitrico concentrato	Potassa caustica	Solfuro Potassico	Persolfuro Potassico
1. Argento	1. Ag	3. Sb	5. Ni	1. Ag	6. Fe	6. Fe
2. Rame	2. Cu	1. Ag	1. A	5. Ni	3. Ni	3. Ni
3. Antimonio	3. Sb	5. Ni	3. Sb	2. Cu	4. Bi	4. Bi
4. Bismuto	4. Bi	4. Bi	2. Cu	6. Fe	8. Pb	3. Sb
5. Niccolo	5. Ni	2. Cu	4. Bi	4. Bi	1. Ag	8. Pb
6. Ferro	6. Fe	6. Fe	6. Fe	8. Pb	3. Sb	1. Ag
7. Stagno	8. Pb	8. Pb	7. Sn	3. Sb	7. Sn	7. Sn
8. Piombo	7. Sn	7. Sn	8. Pb	9. Ca	2. Cu	9. Ca
9. Cadmio	9. Ca	9. Ca	10. Zn	7. Sn	10. Zn	2. Cu
10. Zinco	10. Zn	10. Zn	9. Ca	10. Zn	9. Ca	10. Zn

1324. Immergendosi in un liquido acido una lamina di zinco ed un'altra di rame comunicanti fra di loro per mezzo di un filo di metallo, lo zinco essendo fortemente attaccato quasi versa l'elettrico nel liquido eccitatore e conduttore insieme; ond'è che il liquido trasmette al rame l'elettricità ricevuta: da ciò ne segue che l'uno dei due, lo zinco, è il produttore della elettricità, e che l'altro, cioè il rame, serve di conduttore. La corrente elettrica

dunque va dallo zinco al liquido, dal liquido al rame, e da questo per mezzo del filo conduttore rientra nello zinco, e quindi nel truogolo. Anche il rame, è vero, soffre un'azione chimica dal liquido in cui sta immerso, ma meno energica, talchè gli effetti elettrici che produce lo zinco risultano preponderanti.

1325. Quindi si vede come in questa teoria il contatto non è propriamente che una condizione meccanica, ma non efficiente della circolazione dell'elettrico; e basterebbe a provarlo il solo fatto osservato da FARADAY, che l'elettrico cioè può scoccare tra due fili vicinissimi, ma non toccantisi, comunicanti colle lastre metalliche della coppia elettromotrice.

1326. S'immerga nel liquido acido un solo elemento della coppia voltaica, per esempio la sola lamina di zinco, e si metta in relazione coll'elettrometro condensatore (§. 1243): questo dimostra nello zinco elettricità negativa, mentre il liquido trovasi positivamente elettrizzato. Sostituendosi allo zinco il rame, questo prende parimenti l'elettricità negativa, ed il liquido la positiva, ma meno energica. Immergendosi finalmente nel liquido ambe le lamine, senza però che si tocchino, ed esplorandone lo stato elettrico, si trova negativo quello dello zinco, e positivo quello del liquido e del rame; uniformemente cioè alla esposta dottrina sull'origine chimica della elettricità. Ora nell'accennata condizione in cui si trovano le due lamine, l'elettricità si trova nello stato di tensione, e non può evidentemente circolare, finchè un filo metallico non le ponga in comunicazione; allora soltanto comincia e si continua lo svolgimento dell'elettrico, come comincia e continua

l'ossidarsi e lo sciogliersi dello zinco che si riduce nel liquido allo stato di solfato di zinco, mentre l'idrogeno dell'acqua decomposta si svolge in bolle gassose sulla lamina di rame.

1327. Si formi una coppia con zinco distillato, rame, ed acqua pura: niuna o tutto al più piccolissima sarà l'azione chimica. Si versi una gocciola di acido solforico o nitrico; immantinenti la corrente si stabilisce, benchè debole, come s'indica dal galvanometro. Una seconda gocciola di acido la renderà più energica; una terza più ancora, e così progressivamente, sino al limite in cui l'aumento d'azione chimico-voltaica cessa. Non è a dire come la stessa corrente così ingagliardita s'infievolisca nuovamente per gradi, dilungando gradatamente la soluzione. Tutto ciò è ben conforme alla teoria chimica, dimostrando come ad una più forte azione corrisponda una maggior dose di elettrico sviluppato.

1328. Esposti i fenomeni che han luogo in una pila elementare, è facile intender quelli di una pila composta. Si congiungano quindi all'uopo più coppie in modo che i loro elementi sieno in comunicazione, e disposte tutte le lamine di zinco da un lato, e tutte quelle di rame dal lato opposto, si ha una pila composta, in ciascun truogolo della quale si riproducono gli stessi fenomeni. Pescando infatti in ciascun bicchierino pieno di liquido (Tav. 18 fig. 3) lo zinco di una coppia, ed il rame di quella che l'è prossima, l'elettricità trasfusa dallo zinco nel liquido neutralizza la negativa del rame con cui è in relazione: e ripetendosi lo stesso per ciascuna coppia, non restano libere che le

elettricità degli elementi estremi. Se questi si riuniscono con un arco conduttore, la quantità di fluido che circola per questo è quella stessa che l'ultimo zinco spande nel liquido, e che va a neutralizzare la negativa dell'ultimo rame. Che se poi un disco di zinco s'immerga nel vase dell'ultimo rame, ed un'altro di rame in quello dell'ultimo zinco; quest'ultimo disco aggiunto prenderà l'elettricità positiva del liquido, l'altro cederà al liquido l'elettrico che il liquido istesso vi svolge elettrizzandosi in meno: per cui anche in questo caso gli estremi o poli della pila presenteranno opposti stati elettrici; onde mettendoli in comunicazione con un filo metallico, l'elettrico positivo dell'ultimo rame si trasmetterà per l'arco interpolare, per neutralizzare l'elettricità negativa dello zinco estremo. Ben si vede adunque, che quando un'arco conduttore riunisce i due poli, la quantità di elettrico che vi circola è quella stessa che circola fra i due elementi di una coppia.

4329. Tanto si deduce dalla teoria, ma non è contestato dal fatto. È per tal ragione che i Fisici ammettono che nell'atto in cui l'azione chimica sviluppa l'elettrico, questo riceva una impulsione che mentre lo determina al movimento, lo sottrae ad ogni legge di combinazione e di equilibrio. Obbedendo all'impulsione ricevuta, l'elettrico attraversa il sistema de' conduttori che la pila gli offre, e si accumula sempre di più in più in ragione che si avvanza. Se i fenomeni fossero così semplici, la tensione della pila crescerebbe in ragion diretta del numero degli elementi; ciò che realmente non si verifica. Vi ha un aumento, ma in un più debole rapporto, per esservi perdita di una porzione dell'elettrici-

tà sviluppata. È questa perdita dovuta all' ostacolo che la corrente incontra nell'attraversare un imperfetto conduttore, qual'è la pila istessa; e soprattutto perchè in ciascuno istante cangia di conduttore, dal liquido al metallo, e dal metallo al liquido, circostanza la più sfavorevole alla libera trasmissione della corrente. Ad onta di ciò l'elettricità continuando a prodursi, la sua quantità aumenta in ciascuno istante negli elementi estremi, però sino ad un certo termine, il che costituisce il massimo di tensione della pila (1). Per concepire poi questo fenomeno di tensione fa d'uopo riflettere, che l'elettricità degli elementi estremi non è mica isolata: essa tende a rientrare nella pila, che gli offre un conduttore imperfetto, e secondo una direzione inversa di quella con cui è stata messa in movimento: essa vi si propaga male, per esser la pila un conduttore imperfetto; ma vi rientra però tanto più facilmente, per quanto è maggiore la carica degli elementi estremi. Questa carica intanto andando sempre più aumentandosi, si perviene ad un punto in cui la perdita che ha luogo per il ritorno della corrente è eguale alla quantità dell' elettrico che l'azione chimica vi spinge e vi cumula: è allora che la pila ha acquistato il suo massimo di tensione.

1330. Non bisogna omettere una circostanza, i di cui effetti sono stati indicati dal Prof. DE LA RIVE, l'influenza cioè di un elemento per aumentare l'intensità di

(1) La *tensione elettrica* non è propriamente che la tendenza dell' elettricità a rimettersi nello stato naturale ne' corpi, tra i quali è disquilibrata; e secondo i Symmeriani la tendenza dell' elettricità di un polo a combinarsi e neutralizzarsi con quello dell' altro.

azione di un' altro elemento. Si supponga adunque che due elementi voltaici agiscano isolatamente; è ben chiaro che ciascuno di essi produrrà un effetto proporzionale all'azione chimica sofferta. Ora si congiungano questi due elementi; l'azione chimica che ne risulterà è più che duplicata, imperocchè a quella propria di ciascuno elemento isolato, si aggiunge l'altra prodotta in questo istesso elemento dall' elemento vicino : quindi se una maggior quantità di materia chimica è decomposta, una più energica corrente dee risultarne. Il limite per l'effetto del nuovo elemento aggiunto ha luogo quando la resistenza di conducibilità della pila è maggiore di quella del conduttore interposto.

1331. Nelle pile a grandi lamine e poco numerose, l'elettricità vi circola con maggiore velocità e con minor perdita; e qualora esse si scaricano con reofori buoni conduttori e di un competente diametro , forniscono realmente maggior quantità di fluido delle pile composte di molti elementi, ma della stessa superficie metallica. Queste pile , è vero , danno una minor dose di elettricità , ma quella che vi è messa in corrente avendo dovuto attraversare una numerosa serie di conduttori , è per questa istessa ragione più propria ad attraversare nuovi conduttori.

1332. La presenza di due metalli non è assolutamente indispensabile per la costruzione di una pila ; è dessa però la circostanza la più favorevole , perchè offre alla corrente due eccellenti conduttori. Due lamine dello stesso metallo subendo la medesima azione chimica, produrrebbero due correnti in senso opposto, le quali vicendevolmente si annullerebbero nei loro effet-

ti . Qualora poi i due metalli sono eterogenei, essendo essi differentemente attaccabili, la corrente la più forte è quella che soltanto si avverte, ma è dessa realmente diminuita da tutto l' effetto della più debole corrente . È per tal ragione che l' impiego di un metallo inattaccabile , funzionante semplicemente da conduttore , produce gli effetti i più rimarchevoli.

1333. Devesi a *Kew* una osservazione della più alta importanza, cioè che sostituendosi allo zinco metallico lo zinco amalgamato, questo non è attaccato dal liquido acidificato, se non quando è messo in comunicazione coll' altro metallo. Risulta da ciò che ogni azione chimica cessa appena s'interrompe la loro vicendevole comunicazione. Ma dallo zinco amalgamato si ottiene un' altro vantaggio assai più rilevante; esso cioè dà all' azione chimica una regolarità ed una costanza rimarchevoli. Lo zinco del commercio contenendo dei metalli eterogenei, rappresenta un aggregato di una moltitudine di piccole coppie voltaiche, le quali ripartite producono una moltitudine di piccole correnti, che si contrariano, e che diminuiscono perciò l'azione principale. Il mercurio apporta sulla superficie dello zinco una uniformità che ne regolarizza l' effetto, facendo concorrere tutte le azioni particolari per una sola direzione. Se poi lo zinco amalgamato sembra non essere attaccato dall' acido, ciò deriva, secondo l' osservazione di *De La Rive*, dacchè il gas che si forma resta aderente sulla superficie dell' elemento sotto forma di uno strato sommamente sottile, che lo preserva. Si sottoponga al vuoto pneumatico; il gas immantinenti si sviluppa, e l' azione si manifesta.

1334. L'energia d'una pila decresce in ragione che agisce, perchè il liquido forma de' nuovi prodotti, i quali mentre da un lato fanno scomparire una parte della sostanza conduttrice, producono dall'altro delle nuove combinazioni, le di cui proprietà come corpi conduttori sono differenti. L'acido solforico si consuma a misura che l'azione si prolunga, ed è sostituito dal solfato di zinco, che non attacca punto egualmente il metallo. A questa prima causa d'infievolimento si aggiunge l'influenza delle correnti secondarie, delle quali si tratterà esponendosi la costruzione delle pile a corrente costante.

1335. Fattasi dall'immortale VOLTA l'importante scoperta che tanto onora la nostra Italia (§. 1312), passò alla costruzione del prodigioso apparato elettromotore. La prima sua forma *a colonna* (Tav. 18 fig. 2) costa di più elementi circolari, o coppie di argento e zinco, o di rame e zinco, tra loro sovrapposti in modo da aver tra essi un girello, o *bulletino* umido di carta, di panno, o di altra sostanza. Gli acidi nitrico e solforico sono ad ogni altro preferibili per acidolare l'acqua, nella quantità di $\frac{1}{10}$ del peso di questa; essendo l'acqua così acidolata la sostanza che rende più energici gli effetti dell'apparato elettromotore. Però l'effetto totale di questa pila scemasi notabilmente per due cagioni. I bullettini inferiori compressi dal peso degli elementi superiori presto si prosciugano; ed il liquido che ne sorte grondando lungo la superficie esterna dell'apparato, stabilisce tra le coppie delle comunicazioni particolari. Fu per queste ragioni che lo stesso VOLTA modificò questa prima forma della sua pila, introducendo nei bicchieri A, B,

C, D.... (Tav. 18 fig. 3) pieni per metà di acqua acidolata o salata, più archi metà rame e metà zinco saldati insieme, in modo però che ciascuna delle tazze intermedie contenga due diversi metalli separati da uno strato liquido, ed un solo, ma diverso, ne contengano le estreme. Quest' altra forma, i di cui effetti corrispondono a quelli della colonna, dicesi *corona di tazze*.

1336. Un'altro apparato detto in Inghilterra, dove fu immaginato da CRUICKSHANKS, *trog-apparat*, ossia *apparato a truogoli*, costa di più coppie rettangolari, disposte, come dicesi, per coltello, e parallelamente in una cassa di legno AB (Tav. 18 fig. 4), le di cui interne pareti ricoperte sono di un mastice coibente. L'intervallo di due o tre linee posto fra due coppie, e riempito di acqua acidolata, fa le veci del bullettino umido della pila a colonna. Bisogna evitare ogni comunicazione tra i susseguenti truogoli, od intervalli dalla parte degli orli, e verso il taglio. Riunendosi più pile simili alla descritta, per mezzo dei fili metallici r, z , si forma la *batteria Galvanica* o *Voltaica*.

1337. Benchè questa costruzione prevenga gli inconvenienti della pila verticale, non raggiunge però lo scopo della esattezza; poichè si raddoppia secondo CHILDREN l'azione della pila congegnandosi l'apparato in modo da trovarsi la lamina di zinco immersa in tutte le cellule nel liquido acidolato tra due lamine di rame. Fondasi tal disposizione sul principio sperimentale, che l'elettricità passa più o men volentieri dal liquido in un metallo o viceversa, secondochè il metallo è più o meno attaccabile; perciò alla minore trasmissibilità della corrente per la lamina negativa della coppia che è la

meno intaccata, si supplisce con una maggiore ampiezza, e con ciò si ottiene che una maggior quantità di elettricità è posta in circolazione. Invalsa quindi la costruzione delle pile con lamine di zinco circondate da una di rame raddoppiata, si è resa preferibile alle precedenti quella di WOLLASTON. Costa questa di una serie di elementi voltaici annessi al regolo di legno AB (Tav. 48 fig. 5); fra le due superficie di rame di ogni elemento, formate da una lamina di questo metallo ripiegata, è posta una di zinco congiunta al rame dell'elemento seguente mediante una comunicazione metallica. Abbassando il regolo in GD, s'immergono gli elementi nei sottoposti recipienti pieni di acqua acidolata. Circolando così la corrente elettrica, mostra l'apparecchio nei due poli z ed r elettricità contrarie, senza tema d'indebolirsi l'azione della pila per la comunicazione del regolo colle sue estremità, essendo il legno cattivo conduttore.

1338. La *pila ad elica* non è che una modificazione della precedente, destinata a produrre poderose correnti elettriche senza grandi tensioni. Essa si compone di due lamine, una di zinco, di rame l'altra, ravvolte intorno ad un cilindro di legno, separate negli estremi da un orlo di panno, e così ritenute da cordelline di spessore minore del panno. Impiegando all'uopo lamine di 5 o 6 metri quadrati di superficie, si compongono delle coppie molto energiche; ed unendo non più che 40 di queste coppie, si ha una batteria di una straordinaria potenza.

1339. Ad onta delle modificazioni varie apportatevi da CHILDREN, da HARE, da FARADAY, da YOUNG, e da

MUNCH, tutte queste pile perdono in breve tempo la loro attività. Nel modificarne e rettificarne la costruzione, son giunti i Fisici a dargli una durata ed uguaglianza di azione, che le han fatto distinguere col nome di *pila a corrente costante*. L'indebolimento graduato ma rapido della pila proviene: 1.º da ciò che il liquido eccitatore cangia di natura in ragione che l'azione ha luogo; al quale inconveniente si è in parte rimediato, aumentando la capacità dei trnogoli, e rinnovando da tempo in tempo il liquido: 2.º da ciò che per effetto dell' istessa azione chimica in ciascuno elemento si producono delle correnti secondarie, le quali circolando in senso opposto distruggono in parte l'altra prodotta dallo zinco (§. 1334). E siccome queste correnti derivano dai diversi prodotti dell' azione chimica operata dalla elettricità, e trasportati sugli opposti elementi della pila, così la loro energia aumenta a misura che la pila agisce per più lungo tempo, e finiscono per annullare la corrente principale. A ciò si aggiunge che una porzione dell' ossido di zinco ridotto dall' idrogeno dell' acqua decomposta, si depone sull' elemento rame, ed allora lo zinco trovandosi opposto allo zinco, le condizioni essenziali della pila non sono più soddisfatte (§. 1332). Inoltre l' idrogeno che si fissa sulla superficie del rame si oppone all' immediato contatto del liquido, e diminuendosi per tal modo la superficie del metallo conduttore, impedisce singolarmente lo sviluppo della corrente. Sonosi in parte corretti questi inconvenienti separando l'azione sulla lamina generatrice zinco, dall' azione sulla lamina conduttrice rame. A ciò si perviene per mezzo del diaframma, il

quale facendo liberamente passare la corrente, impedisce che i due liquori possano facilmente mescolarsi. Allora l'idrogeno e l'ossigeno, e l'acido e l'ossido derivanti dall'azione della pila essendo interamente separati, non possono più produrre correnti secondarie; ed il solfato di zinco non potendo pervenire sulla lamina di rame, non si può più temere su di questa un deposito di zinco. Fa d'uopo inoltre impedire, che uno strato d'idrogeno non si deponga sull'istessa lamina di rame, e vi si perviene distruggendo questo gas a misura che vi è trasportato. Per raggiungere questo scopo il liquido in cui è immersa la lamina di rame è un sale di rame: l'elettricità nello stesso tempo che sviluppa l'idrogeno separa l'ossido di rame, i quali vengono contemporaneamente trasportati sul polo rame; ivi l'ossido è ridotto, si forma dell'acqua, ed il rame ripristinato deponendosi sulla lamina, mentre ne aumenta la spessezza gli conserva lo splendore. La lamina di zinco poi si tiene immersa nell'acqua acidolata, oppure nella soluzione di sal marino (cloruro sodico).

1340. Per la costruzione delle pile a corrente costante i diaframmi possono farsi di svariati corpi. Le membrane animali, la vescica, lo stomaco, sono buone; ma esse non resistono ad una lunga e continuata azione. Il cuoio non grassato, e bollito nell'acqua salata per fargli conservare la sua flessibilità, è parimenti atto allo scopo. Molti fisici preferiscono i sacchi di tela forte: i diaframmi di gesso sono molto buoni. Sonosi impiegate con successo delle sottilissime laminette di abete. I più comodi poi di tutti i diaframmi sono i truogoli di faenza o di porcellana poco cotta e porosa.

1341. La pila costrutta da DANIEL su questi principii si compone di un vase di rame AB (Tav. 24 fig. 1), che serve di elemento : è desso aperto in C, in cui vi è una gola per congiungervi il diaframma poroso d, d ; dall' istessa gola C parte il sifone D, che si eleva poco meno del vase AB. Nel diaframma d, d si mette l'acqua acidolata, ed una lamina di zinco amalgamato accartocciata; ed il vase AB si riempie d'una soluzione di solfato di rame acidolato : le comunicazioni poi si stabiliscono in z collo zinco, ed in r col rame. Per conservare costante l'azione del liquido acido, se ne fa colare una data quantità dall' imbuto E; e così la soluzione di solfato di zinco, come più densa, esce in corrispondenza per il tubo D. Similmente per conservare costante l'efficacia della soluzione di solfato di rame, si mettono dei cristalli di questo sale nei serbatoi bucherati α ed α . In questa pila la corrente è prodotta dall'azione dell'acido sullo zinco, e dalla mutua azione delle due soluzioni, le quali venendo in contatto a traverso del diaframma generano una nuova corrente: e siccome il solfato di rame prende l'elettricità positiva, così questa seconda corrente cammina per lo stesso verso della prima, ad essa si aggiunge e la rinvigorisce. E qualora si pon mente che il sistema di costruzione di questa pila impedisce la formazione delle correnti secondarie, si rende facilmente ragione dei buoni risultati che se ne ottengono.

1342. La pila di SMEE è senza diaframma. Essa si compone di un elemento di zinco amalgamato, come metallo produttore, e di un'altro metallo inalterabile, come metallo conduttore. A tal effetto s'impiega il

platino, od una lamina platinata. Richiedendosi che lo idrogeno non restasse aderente su questa lamina, se ne deve rendere la superficie tutta aspersa di una moltitudine di piccole asprezze, le quali facilitano la dispersione del gas in ragione che vi è trasportato dalla corrente. Vi si perviene raschiando il platino in diversi sensi. Meglio però soddisfa allo scopo una lamina di rame platinizzato (1). La lamina di zinco amalgamato è sostenuta nel mezzo delle due lamine di rame platinizzato da una apposita montatura di legno; ed il tutto s'immerge nell'acqua acidolata da $\frac{1}{10}$ di acido solforico. L'azione ne è caratterizzata dallo sviluppo del gas idrogeno che ha luogo fra le due lamine. Si ha il vantaggio di potersi sostituire alla lamina di platino una tela di rame platinizzato. Ciascuna lamina di tela metallica deve aver la grandezza di quella di zinco; e debbonsi inclinare ravvicinandole verso l'alto per facilitare la dispersione delle bollicine gassose. Questa pila non ha certamente la costanza di quella preparata col solfato di rame, ma è d'una più semplice costruzione. Il liquido acido eccitatore ha di bisogno di essere da tempo in tempo rinnovato.

(1) Il rame platinizzato si ottiene facendo primieramente deporre su d'una lamina di questo metallo uno strato di rame metallico, impiegandola come polo negativo in una soluzione di solfato di rame traversata dalla corrente; il rame che in tal modo vi aderisce vi forma una superficie scabra. Quindi si fa deporre su questo rame uno strato sottile di argento, e su di questo un'altro strato parimenti sottile di platino, avvalendosi sempre all'uopo della corrente elettrica. Risulta così l'elemento inattaccabile, nè può ritenere il gas sulla sua superficie, che è quello appunto che precisamente si richiede.

1343. La forza di una corrente è di tanto maggiore per quanto più i metalli che s' impiegano sono dotati di proprietà dissimili (§. 1315): così congiungendo, per esempio, un metallo molto attaccabile con un'altro inalterabile, l'azione produttiva di quest'ultimo risulta nulla; esso si limita a funzionare da conduttore; e qualora si può metterlo all'arbitrio delle correnti secondarie che nascono dall'azione medesima della pila, debbesi ottenere una pila d'una grande energia. Tale è la pila di GROVE. Una lamina di platino è immersa nell'acido nitrico concentrato contenuto in un vase poroso, il quale è immerso in un'altro vase contenente dell'acido solforico acidolato al 6.^o, ed in cui è introdotto l'elemento di zinco amalgamato. All'opposto di quanto si verifica nelle altre pile, in questa si ha un'azione crescente; imperocchè il calore che si sviluppa aumenta la conducibilità de' liquidi, come ancora perchè la conducibilità dell'acido nitrico aumenta a misura che discioglie l'ossido d'azoto formatosi durante la reazione. NELLY che meglio di ogni altro ha studiato questa pila, dice che lo zinco deve avere una superficie doppia di quella del platino. Egli ha conosciuto che per ottenerne il massimo effetto, vale meglio unire gli elementi quattro a quattro, o cinque a cinque, che fare una sola pila di molti elementi.

1344. BUNSEN nella sua pila ha sostituito allo zinco il carbone calcinato. Questa pila si compone di quattro pezzi solidi, l'uno nell'altro liberamente rientrante. Il primo è un vase di vetro AB (Tav. 24 fig. 2), nel quale si mette l'acido nitrico del commercio. Il

secondo è un cilindro vuoto di carbone *cc* (1), bucherato nella superficie per facilitare l'azione dell'acido nitrico in cui è immerso: è desso ancora fornito nella sua parte superiore di un orlo, su di cui è adattato un anello di rame per trasmettere l'elettricità del carbone mediante la lamina *C*. Il terzo è una cellula di argilla cotta porosa *aa*. L'ultimo finalmente è un cilindro vuoto di zinco amalgamato *zz* immerso nell'acido solforico diluito in sette od otto parti di acqua. La corrente principale deriva dall'azione dell'acido solforico sullo zinco: questo si elettrizza negativamente; mentre il liquido elettrizzandosi positivamente, trasmette al carbone la corrente. Un'altra corrente poi, anche diretta per lo stesso verso deriva dalla reciproca azione dei due liquori. L'idrogeno che si sviluppa non può nuocere all'azione, risolvendosi in acqua per l'ossigeno che assorbe dall'acido nitrico, appena giunge al polo negativo. Questa pila per l'energia la cede appena a quella di *Grove*; però è dessa d'un effetto più costante, e soprattutto è più economica.

1345. Partendo *Grove* dal principio, che non v'ha chimica azione senza sviluppo di elettricità, compose la sua *pila a gas*, impiegando l'ossigeno e l'idrogeno per elementi del suo nuovo apparato. Una quantità di tubi (Tav. 24 fig. 3) con entro una soluzione di acido solforico, e ripieni in parte gli uni di gas ossigeno, gli altri di gas idrogeno costituiscono una pila qualora si accop-

(1) Si ottengono questi cilindri cuocendo in una apposita forma di ferro, e ad alto fuoco, un miscuglio di due parti di carbone fossile (coke) in polvere, ed una di olio grasso o di sciroppo diluito.

piano , nel modo espresso dalla figura , con archi di platino, i quali debbono prolungarsi sin dentro il liquido. I due gas diminuiscono, ma l' idrogeno con doppia rapidità, perchè essi si combinano attraverso il liquido. Avendo l' autore ottenuto in tal modo una corrente bastevolmente vigorosa , i di cui effetti va connettendo con quelli che diconsi catalitici; ne ha tratto un nuovo argomento in favore della teorica elettro-chimica. Di fatto , egli dice, dove è quivi la forza elettromotrice, se non nella chimica azione ?

1346. Verso il 1810 DE LUC volle osservare se per comporre un elemento voltaico è indispensabile l' intervento del corpo umido , o se possa rimpiazzarsi invece con uno asciutto , o con uno almeno di non apparente umidità. Formò quindi una pila congiungendo molte coppie di zinco ed argento separate da girelli di panno asciutto; e vide che questa dava deboli segni elettrici , i quali però divenivano più vigorosi quando ai girelli di panno altri ne sostituiva di carta da scrivere. Costruì poi la sua *pila a secco* con girelli di zinco o di latta , a cui erano incollati de' corrispondenti girelli di carta così detta indorata , la quale è ricoperta di un sottilissimo strato di rame , in modo da essere lo zinco o la latta ed il rame i due metalli, e la carta il corpo ad essi intermedio. Simultaneamente l' illustre Prof. di Verona l' Abate ZAMBONI, ignorando l' invenzione di DE LUC , immaginò un simile apparato , più comodo, più semplice, e più sicuro ne' suoi effetti (1). La prima pila a secco fu da lui costruita met-

(1) Vedi l' opera del ZAMBONI intitolata *Elettromotore*

tendo in contatto le superficie metalliche delle carte così dette dorate ed inargentate, ma che son ricoperte di rame e di stagno. La più efficace però fu formata con un gran numero, per esempio 1000, di pezzetti di carta inargentata, cioè coperta di stagno su di una faccia, e smaltata sull'altra di uno strato di perossido di manganese sottilmente polverizzato: attaccato ad ambi i poli un filo conduttore, ne ricoprì tutta la superficie con uno strato di mastice ben compatto per garantirla dall'azione dell'aria, capace di variarne notabilmente gli effetti colla sua diversa umidità e temperatura; producendo le variazioni di questa, benchè lentamente, delle corrispondenti variazioni nella tensione di questa pila. Se ne costruiscono ancora con girelli di carta, inumiditi al massimo dal vapore atmosferico, e ricoperti su d'una faccia da una sottile lamina di zinco, e sull'altra dalla polvere di perossido di manganese.

1347. Formò poi lo stesso ZAMBONI un'altra pila con più rotelli di carta inargentata, come viene dalla fabbrica, ma disposti in modo da toccare ognuno colla faccia, su cui è incollato lo strato metallico, la faccia nuda dell'altro. Non costando così l'apparato che di due elementi, di uno strato metallico e di un corpo umido, dell'umidità cioè contenuta nella carta, fu detta dal suo autore *pila binaria*.

1348. La ragione elettrizzante gli apparati zamboniani è quella stessa della pila voltaica. Dai varii esperimenti all'uopo istituiti il Professor di Verona ne dedus-

perpetuo, Verona 1820, e la sua *Dissertazione della pila a secco* Verona 1812; e la *Bibl. Britt.* vol. 57 pag. 223.

se che qualunque sieno i corpi da cui risulti la pila , la corrente elettrica è spinta dalla faccia del maggior contatto verso l'altra del minore, ossia dalla superficie invisibile un poco ossidata per l'incollamento all'altra opposta visibile non ossidata, e l'umido della carta trasmette l'elettrico da un girello all'altro. Diversa poi è la sua opinione sulla carta di argento , che la riguarda tuttavia come una pila binaria, composta cioè di due soli elementi, metallo ed umido. Perchè questa si accordi coll'altra o colla primaria , egli dice, è mestieri che la faccia metallica sia negativa, e il rovescio della carta, cioè l'umido di questa sia positivo.

1349. Ottengonsi colle pile a secco parecchi degli effetti dell'elettromotore voltiano, sì fisici che fisiologici ; i meno cospicui sono i chimici per l'imperfezione del conduttore liquido. DOLEZENNE però con un apparato di 2000 coppie di stagno e perossido di manganese, ciascuna della superficie rettangolare di 349 millimetri sopra 171, ottenne fra gli altri fenomeni le commozioni, e la decomposizione dell'acqua da poterne raccogliere i prodotti gassosi (1). ZAMBONI applicò la corrente delle sue pile come forza motrice agli orologi non solo, ma ad un'altro piccolo apparato ancora cui diede il nome di *moto perpetuo*. Il maggior vantaggio che n'ebbe la scienza fu quello di avere una sorgente sempre pronta di elettricità da applicarla alla bilancia di COULOMB ; ed allo scoprimento delle più deboli tensioni

(1) *Société Philomatique de Paris* , séance du 29 juillet an. 1843—*Institut* n.º 502 p. 265 , 10 août an. 1843.

mediante l'elettrometro a due pile a secco del Prof. di Tubinga BONHENBERGER.

1350. WATKINS è giunto a costruire una pila di notevole tensione con un solo metallo (zinco), e senza liquido. È dessa composta di 80 piastre di zinco di 4 pollici di superficie, polite per una sola faccia, e collocate parallelamente in un truogolo di legno l'una lontana dall'altra di uno a due millimetri, talchè non restano esse separate che da uno strato sottilissimo di aria. Le superficie pulite son tutte rivolte dal medesimo lato. L'umidità dell'aria fa le veci di quella della carta. Lo sviluppo della elettricità si ripete dalla ineguaglianza dell'azione chimica sulle due superficie; e l'accumulamento elettrico si ritiene che si compia mediante l'aria e le pareti del legno (1).

1351. Nella composizione di tutte le varie specie di pile di cui si è fatto parola fa parte costantemente un metallo. I Fisici però han provato che l'intervento di questo non è indispensabile, avendo essi costruito delle pile di soli liquidi, di sostanze vegetabili, e di sostanze animali. Di fatti PFAFF ottenne delle pile con tre liquidi; BARONIO con dischi di ramolaccio e di bietola rossa; ROSSI con parti di vegetabili e di animali; e recentemente MATTEUCCI con nervi e muscoli di rane. Questi fatti fanno sperare che mediante l'attuale progresso della Chimica, si perverrà forse alla costruzione di pile soddisfacenti al triplice scopo, della semplicità cioè, della economia, e dell'energia di forza.

(1) BECQUEREL *Traité de l'Électricité* etc. Tom. II. p. 256.

CAPITOLO III.

DEGLI EFFETTI DEGLI APPARATI
ELETTROMOTORI.

1352. Gli apparati finora descritti diconsi *elettromotori*, perchè gli elementi che li costituiscono mettono in moto una quantità di fluido elettrico (§. 1313), che passando attraverso del corpo umido dall' una all' altra coppia tende a ritornare, circolando, nel luogo donde si è mosso (§. 1328). Si equilibra in un certo modo questo fluido e si arresta per mancanza di conduttori che gliene aprino il passaggio, ma somministrandosi questo da un arco conduttore comunicante coi due poli, vi ritorna effettivamente, ed immediatamente ne riparte per ritornarvi, dando così luogo ad una rapidissima circolazione. Quando i poli comunicano per mezzo dei conduttori si dice *aperta la corrente*, o *formato il circuito*; ed all'opposto dicesi *chiusa la corrente* od *il circuito galvanico*.

1353. In una pila poi debbesi distinguere la *forza fisica* dalla *forza chimica*. La prima dipende dalla *quantità* di elettrico che la pila può mettere in circolazione in un istante, e questa è proporzionale alla superficie più che al numero degli elementi: la seconda dipende dalla *tensione* con la quale l'elettricità trascorre l'arco interpolare, e questa è relativa più al numero che alla superficie degli elementi (§. 1331); onde quando le altre condizioni restano costanti, la tensione di una

pila è proporzionale al numero degli elementi (1). È per ciò che le pile composte di pochi ma grandi elementi diconsi *pila di quantità*; mentre quelle di molti e piccoli elementi diconsi *pila di tensione*. Gli effetti intanto che ottengono dalla corrente elettrica, distinguonsi principalmente in *fisici*, *chimici*, e *fisiologici*.

DEGLI EFFETTI FISICI.

1354. Se immensa è la velocità della corrente istantanea, ossia della scarica della boccia di Leida (§. 1272), non altrimenti è a dirsi della corrente della pila. Tanto è costatato dalla esperienza; imperocchè qualunque sia il corpo conduttore pel quale la corrente si propaga, non si è potuto sinora scorgere alcun intervallo di tempo valutabile tra il principio della corrente e l'istante in cui si manifestano i suoi effetti, per quanto lungo siasi fatto l'arco interpolare. Disposti infatti degli aghi calamitati presso un' arco di metallo molto lungo, si osserva, che mettendone appena gli estremi in comunicazione con i poli d'una pila, all'istante tutti gli aghi si muovono e tutti egualmente; fatto, il quale prova non solo l'istantaneità di trasmissione, ma anco-

(1) Le pile a grandi elementi convengono principalmente per le sperienze elettro-magnetiche, le quali si eseguono sempre con conduttori metallici. Quelle composte di molti elementi s'impiegano a produrre le decomposizioni chimiche, per essere i chimici composti altrettanti conduttori imperfetti; son' esso parimenti le più idonee per i fenomeni calorifici, dovendosi all'uopo impiegare dei fili sottili, che si riguardano anch'essi come conduttori imperfetti.

ra che la corrente elettrica ha la medesima intensità in tutti i punti della lunghezza dell' arco conduttore.

1355. L' elettricità percorrendo un circuito qualunque non si porta alla superficie , come l' elettricità di tensione , e la scarica della batteria (§§. 1228-1274), ma si trasfonde per tutta la massa. Preparati gli estremi del filo del galvanometro in modo da esser costante la loro superficie metallica , ciò che ottiensi cuoprendoli di vernice fuorchè negli estremi , immersi questi in un canale ripieno di mercurio o di altro liquido percorso dalla corrente, l' ago dello strumento proverà sempre la medesima deviazione a qualunque profondità quelli si tuffino. In questo esperimento ben si scorre, che l' elettricità indicata dal galvanometro non è che una porzione di quella che direttamente transita per la massa del conduttore , ossia del liquido , dovendo circolare per il circuito del galvanometro , il quale è molto più lungo dell' intervallo che separa gli estremi dello stesso. Questa porzione della corrente che viene *assorbita*, è detta da POUILLET *corrente derivata*.

1356. Ad onta della massima velocità con cui la corrente elettrica transita per la massa dei conduttori , pure sperimenta essa una resistenza per parte dei conduttori istessi. Il celebre OMM avendo all' uopo intrapreso delle interessanti ricerche, è pervenuto a stabilire, che qualora la velocità della corrente è aumentata o diminuita in un punto qualunque del circuito, e ciò o facendo variare la forza elettro-motrice (1), o la resi-

(1) Per forza *elettro-motrice* , lungi dall' idea che vi applicava il VOLTA , oggi non vuolsi intendere , che l' azione chimica , il calore, la confricazione, e qualunque altra sorgente di elettricità.

stenza, la velocità aumenta o diminuisce corrispondentemente in ogni punto del circuito: in tal guisa nello stesso dato tempo passa sempre la stessa quantità di elettricità per ogni sezione trasversale del circuito. FECHNER e POUILLET han rilevato dalle loro sperienze che la resistenza di un filo metallico alla corrente è direttamente proporzionale alla sua lunghezza ed inversamente alla sua sezione. Quindi POUILLET classifica i seguenti metalli da lui sperimentati secondo l'ordine decrescente di loro conducibilità: *palladio, argento, oro, rame, platino, ferro, mercurio*. Finalmente un aumento di temperatura in generale diminuisce la conducibilità dei metalli.

1357. Pregevoli sono i risultati ottenuti dall' illustre FARADAY intorno alla conducibilità dei liquidi. Ha egli dimostrato che molti corpi, i quali non conducono essendo solidi, acquistano questa proprietà allorchè sono nello stato liquido, nelqual caso vengono decomposti dalla corrente; come il ghiaccio, il nitrato di potassa, la potassa, la soda, il solfato di potassa, l'acetato di piombo, ec. Vi sono però alcuni corpi, i quali benchè fusi non acquistano la facoltà conduttrice, e son quelli che la corrente non scompone. Si eccettua il solo bismuto di mercurio, il quale fuso conduce la corrente senza esserne decomposto. I corpi elementari, come il iodo, il cloro, il bromo, lo zolfo, ec. sono privi di conducibilità; e se aumentano quella dell'acqua cui si aggiungono, non è che in seguito delle nuove combinazioni che si producono. Quasi tutti i Fisici moderni adunque ammettono che nei liquidi la conducibilità è accompagnata dalla decomposizione voltaica (elettrolizzazione); ossia ammettono il principio che una corrente elettrica

non può essere condotta da un liquido (conduttore elettrolito) senza che vi abbia decomposizione proporzionale alla quantità di elettrico trasmesso. Intanto siccome da taluni si pensa insieme con FARADAY, che le correnti possono in certe circostanze attraversare i liquidi senza far loro subire veruna decomposizione, così gli illustri Fisici Torinesi Cav. BOTTO ed AVOGADRO han fatto conoscere (1), che i due effetti della conducibilità e della decomposizione non vanno mai scompagnati; od almeno devesi ammettere, che nei casi pure in cui la decomposizione dei corpi (elettroliti) non succede in un modo evidente, un effetto analogo si produce dalla corrente elettrica nei liquidi per una modificazione particolare impressa alle loro molecole, la quale cessa al cessare della corrente medesima. La conducibilità delle soluzioni finalmente è aumentata dal calore; e questa proprietà la ritengono quando ritornano alla primiera loro temperatura.

1358. Mettendosi in comunicazione i due poli di una pila, l'uno coll'armatura interna della boccia di Leida, l'altro colla esterna, o con una batteria elettrica, si caricano entrambe, e precisamente come sogliono caricarsi quando comunicano col conduttore di una macchina elettrica, benchè con una rapidità sommamente maggiore; non essendovi macchina elettrica, per poderosa che sia, capace di comunicare in sì breve tempo tal carica ad una batteria. Le bottiglie così caricate dalla pila producono gli stessi effetti di quelle elettrizzate dalla mac-

(1) *Mémoire sur les rapports etc. Memorie della Reale Accademia di Torino*, Serie II tom. 1. p. 179.

china, cioè scintille, attrazioni, scosse, e simili; che anzi caricandosi una bottiglia di Leyda colla macchina elettrica comune, ed un'altra con una poderosa pila, e congiungendosi per mezzo di conduttori le loro armature di opposto stato elettrico, si scaricano scambievolmente.

1359. È dunque provato, che l'elettricità della pila è della stessa natura di quella che si ottiene per istropicciamento, e che si può eccitarla sì con questo che con quel mezzo. Essendo dunque la pila una macchina elettrica, le di cui perdite sono continuamente riparate, ci porge una perenne corrente, onde la mirabile rapidità nel caricarne le bottiglie.

1360. Mettendosi in comunicazione gli estremi della pila per mezzo di fili congiuntivi di ferro, di rame, di argento, di oro, o di altro metallo, scocca tra essi una scintilla, come una scintilla si ha scaricandosi la boccia di Leyda. Si ottengono poi le più vive scintille immergendo nel mercurio uno dei fili polari, ed avvicinando l'altro alla superficie di questo metallo: sono esse sì brillanti che veggonsi anche allo splendore della fiamma d'una candela.

1361. La corrente elettrica attraversando un conduttore ne eleva la temperatura. Questa evoluzione di calorico sembra dovuta alla resistenza che i corpi oppongono alla trasmissione della elettricità, essendosi osservato da CHILDREN che il riscaldamento dei metalli segue la ragione inversa della loro conducibilità. Tutti i corpi conduttori sono più o meno riscaldati, arroventati, o gassificati, come lo sono dall'azione diretta del calorico; e quei corpi composti che sonorisolti da que-

sto nei loro componenti, lo sono ancora dalla elettricità. Le sperienze le più interessanti che siansi fatte su di questo argomento sono dovute a CHILDREN: egli infatti operando con una pila di 21 coppie, aventi nella totalità una superficie di 32 piedi inglesi, giunse a fondere anche quei metalli che eransi mostrati refrattarii al fuoco dei più efficaci fornelli; arroventò al rosso-bianco in tutta la sua lunghezza un filo di platino lungo più di 5 piedi e di $\frac{1}{100}$ di pollice di spessezza; e fuse una piccola barra di platino di 2 linee di lato e lunga 2 pollici. DAVY ha con tal mezzo ottenuto un fenomeno d'incandescenza, il di cui splendore può paragonarsi a quello del sole. L'apparato all' uopo destinato, si compone di un globo di cristallo (Tav. 24 fig. 4) munito di un rubinetto C per adattarlo sulla macchina pneumatica, ed avente due opposti conduttori di metallo A e B, i quali possono a volontà allontanarsi od avvicinarsi sino al contatto. Portano questi negli estremi due coni *a, a* formati di carbone fortemente calcinato ed estinto nel mercurio. Fattosi il vuoto nell'apparato, e ravvicinate quasi al contatto le due punte del carbone, vi si fa passare la corrente di una poderosa pila: una luce abbagliante si manifesta imminente fra i due carboni; ed allontanandoli poco a poco si produce un fascio di luce scintillante che riempie tutto il globo. DELEUIL con una pila di BUNSEN di 400 elementi, ebbe una luce così intensa, che, avendo situato l'apparato sopra una casa prossima a Pont-Nenf, si poterono leggere le ore in un oriuolo dal terrapieno di ENRICO IV. Essendosi misurata l'intensità di questa illuminazione galvanica si è trovata eguale a quella di 572

candele steariche. DANIELL ha confermato un fatto importante , quello cioè del trasporto del carbone dal polo positivo al negativo.

4362. Anche i liquidi sono fortemente riscaldati dalla corrente , talchè attraversando questa il fusto di una pianta grassa , lo riscalda tanto da metterne in ebollizione tutto il succo. L'illustre Prof. Cav. BORRO avendo istituito delle interessanti ricerche sul calore sviluppato nei solidi e nei liquidi dalla corrente voltaica , è giunto col rigore del calcolo a dimostrare che questo calore è il prodotto delle forze che presiedono alla decomposizione voltaica (elettrolizzazione); risultato che rende molto verisimile l'opinione di JOULE sulla identica origine del calore prodotto dalla corrente , e di quello che si sviluppa nelle chimiche combinazioni (1).

4363. Studiando PELTIER in qual modo avvenga la distribuzione del riscaldamento prodotto dalla corrente , ha osservato che nel maggior numero dei casi il maggior calore si ha con un arco di due metalli nel punto della loro saldatura. Adoperando per queste ricerche diversi metalli , è giunto a scoprire un fatto interessante , che quando cioè si fa passare la corrente elettrica per un arco interpolare composto di bismuto e di antimonio , vi è riscaldamento se essa è diretta da questo a quel metallo ; che se poi si dirige dal bismuto all'antimonio , la saldatura invece si raffredda. Questo freddo , scriveva WARTMANN , è probabilmente un effetto

(1) *Sur les lois de la Chaleur dégagée par le courant voltaïque , et sur celles qui régissent le développement de l'électricité dans la pile* , inserita negli *Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino* , Tom. VIII serie II , 1845.

della saldatura de' metalli di una coppia eterogenea ; ma questo stato di probabilità, che include sempre quello di dubbio, fu tolto, e fu recato al grado di fisica certezza dagli esperimenti all'uopo istituiti dal laborioso Prof. ZANTEDESCHI (1).

1364. Avea stabilito PELTIER che vi è raffreddamento in tutti quei casi in cui la corrente passa attraverso alla saldatura, o unione di due metalli, andando dal cattivo al buon conduttore; ma il Prof. PACINOTTI ha osservato che talora vi è produzione di freddo, abbenchè la trasmissione abbia luogo in condizioni opposte a quelle indicate da PELTIER. Quindi il prelodato PACINOTTI ravvicinando questi fenomeni a quelli della corrente termo-elettrica, che si eccita riscaldando la saldatura dei due metalli, come si dirà nel seguente capitolo, è pervenuto a questo risultato generale » che, cioè, » la corrente voltaica produce freddo quando è mandata in una coppia metallica in quella direzione in cui suole eccitarsi la corrente termo-elettrica, riscaldando la congiunzione dei due metalli ». Ignorasi intanto il legame di queste due classi di fenomeni.

1365. Adattati gli estremi di due sottili fili di ferro ai poli d'una pila, ed avvicinandosi tra essi i capi liberi sostenuti con pinzette isolanti, prima del contatto corrono l'uno verso l'altro, ed aderendo tra essi in modo da non potersi disgiungere senza uno sforzo, manifestano il fenomeno dell'attrazione e della così detta coesione elettrica, che segue nei corpi diversamente elettrizzati.

(1) *Trattato del Magnetismo e della Eletticità*, Venezia 1844 Par. I p. 286.

1366. Che la corrente elettrica sia anch'essa capace di produrre fenomeni meccanici, è provato dal seguente esperimento scoperto da Ponnaet. Separata la capacità di un vase di vetro in due cavità mediante una membrana fissata con mastice sulle pareti, vi si versi dell'acqua, ma nell'una in maggior quantità che nell'altra cavità. Vi s'immergano poi i due reofori di una pila, in modo però che quello derivante dal polo positivo sia immerso nella maggior quantità di liquido, ed il negativo nella minore. Dopo qualche tempo scorgonsi invertite le masse liquide, talchè la maggior dose trovasi raccolta nella cavità in cui è immerso il reoforo procedente dal polo negativo. La corrente elettrica adunque trasporta nella sua direzione alcuni corpi che incontra, e tanto più facilmente quanto più è dessa astretta a transitare per un mezzo poco deferente.

1367. Tanto è provato ancora dal seguente esperimento istituito dal celebre Henschel. Si ricopri di acido solforico una gocciola di mercurio, e s'immergano nell'acido in due punti opposti i due reofori di una pila non molto forte: il mercurio si agita, e si allunga verso il polo negativo; nell'atto istesso che una serie di correnti agitano la superficie dall'acido, e lo spingono dal polo negativo al positivo. Queste correnti si rendono manifeste aspergendo l'acido di polvere di legno, o di altra sostanza leggiera. Se invece di avvalersi della pila, si tocca il mercurio con un filo di ferro, l'acido acquista un movimento di rotazione. Toccandosi poi la stessa gocciola di mercurio in due punti, vi si distingue non solo il cennato moto, ma anche un moto intestino alternativo di contrazione, simile secondo il

NOMILI alla sistole e diastole del cuore. In tal modo sperimentando sonovi tutti gli elementi per generare una corrente ; cioè vi è la più efficace pila che si possa costruire se potesse esser durevole com' è energica.

1368. Formandosi finalmente il circuito tra i due poli della pila , tutti i corpi , che impediscono la scarica della boccia di Leida , la impediscono anche nell'apparato elettromotore. Essendo però essi de' *conduttori imperfetti*, sonosi classificati da ERMANN, Membro dell' Accademia di Berlino , in una sua Memoria coronata nel 1807 dall' Istituto Nazionale di Parigi. Ha egli chiamato *corpi bipolari* quelli di essi , che serrando il circuito presentano nella loro lunghezza due opposte bande per i loro effetti elettrici ; e *corpi unipolari positivi o negativi* tutti gli altri che non impediscono il circuito , ma conducendo il positivo isolano il negativo , od all' opposto. CONFIGLIACHI e BRUGNATELLI ripetendo e variando in più modi gli esperimenti del Fisico Prussiano , verificarono che i corpi sieno bipolari od unipolari , quando formano circuito tra i due poli , conducono sempre dall' uno all' altro polo una parte di elettricismo , lasciandone sempre un' altra maggiore o minore ; e che quando sono soli nel circuito conducono in maggiore o minor copia una specie di elettricità in preferenza dell' altra. E stabilirono in generale che gli imperfetti conduttori sono di due ordini ; uno di quelli che costantemente ed in qualunque posizione esaltano la tensione positiva e spegnono la tensione opposta , conducendo liberamente e continuamente l' elettrico di questo polo, o viceversa ; e l' altro di quei che secondo le diverse circostanze preferiscono l' una o l' altra

elettricità. Così a differenza di tanti altri corpi la fiamma del fosforo conduce costantemente il polo negativo, e quella del gas idrogeno invariabilmente il positivo (1). Ora gli organi animali sono imperfetti conduttori, e conducono forse più presto l'elettricità positiva che la negativa; ond'è forse che si sente più forte la scossa quando posta in contatto una mano col polo positivo, si tocca coll'altra il polo negativo, come si dirà in appresso.

DEGLI EFFETTI CHIMICI.

1369. Deve la chimica molte interessanti scoperte alla invenzione della pila. CARLISLE e NICHOLSON ne fecero i primi nel 1800 l'applicazione; ed il primo fatto da essi operato fu la scomposizione dell'acqua, impiegandovi il seguente apparato, con cui tuttora si ripete lo sperimento. È ABCD (Tav. 18 fig. 9) un vase di forma conica, la di cui piccola apertura CD è chiusa da un sughero attraversato da due fili di platino *a, b*, paralleli e poco tra essi distanti. È questo tura-ciolo coperto di ceralacca per rendere i fili perfettamente isolati. Ripieno il vase di acqua, si coprono gli estremi interni de' fili con due piccole campane di vetro *c, d* ripiene dello stesso liquido, e se ne mettono in comunicazione coi due poli della pila gli estremi esterni *a, b*. Stabilita appena questa comunicazione, l'acqua comincia a scomporsi, e l'ossigeno e l'idrogeno si raccolgono separatamente nelle due picco-

(1) *Gior. di Fis. e Chim. di Pavia*, Tom. I.

le campane, l'ossigeno cioè in quella corrispondente al polo positivo e l'idrogeno nell'altra del polo negativo.

1370. La decomposizione dei sali, operata la prima volta da **CRUIKSHANKS** mediante la pila, rende evidente il fenomeno del trasporto. Pose egli in un tubo ricurvo **AB** (Tav. 13 fig. 10) una soluzione acquosa di acetato di piombo, e sottoposto l'apparato all'azione della pila, osservò il filo del polo negativo ricoperto di piccoli aghi di piombo nello stato metallico, mentre l'ossigeno ossidante questo metallo portavasi coll'acido acetico al polo positivo. In questi fenomeni di trasporto è notevole che le sostanze sottoposte all'azione della corrente, non solo sfuggono nel loro passaggio alle più energiche affinità, ma non agiscono affatto sui più sensibili reagenti. Se siano infatti nel circuito galvanico tre tazze di vetro **A, B, C** (Tav. 18 fig. 11) contigue e comunicanti tra esse per mezzo di corpi deferenti, come per esempio fili di amianto, e siavi nella media **B** una soluzione di solfato di soda, e nelle altre **A, C**, in cui pescano i fili che partono dagli estremi della pila, sia dell'acqua tinta coll'infuso ceruleo delle violette mammoie; per l'azione della corrente elettrica il sale si decompone, si dirige la soda al polo negativo; e giunta nel vase **C**, in cui pesca il filo da quel polo derivante ne tinge il liquido in verde; mentre l'acido attratto dal polo positivo tinge in rosso il liquido contenuto nel vase **A**. È notevole che gli acidi e gli alcali non siano trattieneuti nel passaggio dal contatto di altra sostanza, con cui abbiano anche molta affinità, e che siano costretti di attraversare. Se infatti nella tazza **C**, che riguarda il polo negativo, sia una soluzione di solfato di potassa, nella media **B** dell'ammoniaca liqui-

da, ed in quella A dell'acqua pura; l'azione elettrica distacca l'acido solforico dalla potassa e lo trasporta al polo positivo, cioè nella tazza A; obbligato quindi l'acido a passare per la tazza B, in cui vi è dell' ammoniaca , benchè avesse per questa molta affinità , pure l'attraversa senza combinarvisi (1). Non avvertendo questi corpi nel loro passaggio le più energiche affinità , così risultano privi di azione sui più squisiti reagenti. Se infatti un acido ed un'alcali andando verso il polo che lo attira, attraversa un vase, in cui sia la solita tintura cerulca, il colore di questa non resta in alcun modo alterato.

1374. Si può stabilire che tutte le chimiche combinazioni, qualora sono esposte nelle circostanze favorevoli, sono decomposte dalla pila, ed i loro elementi sono trasportati ai poli opposti. Gli ossidi metallici sono ridotti dalla corrente; l'ossigeno si porta al polo positivo, ed al negativo il metallo. L'illustre DAVY, agendo con una pila molto forte, trovò composti gli alcali e le terre, creduti sino a quel tempo corpi semplici: la potassa, la soda, la calce... non sono oggi che combinazioni di ossigeno e potassio, sodio, calcio... In generale la decomposizione degli ossidi ha luogo quando sono liquidi, permettendosi in tale stato la libera trasmissione della corrente: gli ossidi di piombo e di bismuto non sono decomposti che quando sono fusi. **BERZELIUS** e

(1) Solo la barite e la strontiana ne arrestano il corso o sono arrestate dall'acido solforico ; come anche l'acido cloridrico trattiene ed è trattenuto dal solfato di argento. Producendo queste sostanze un composto insolubile , questo precipitando si sottrae all'azione della corrente.

PONTIN hanno dimostrato che la presenza del mercurio facilita sommamente la riduzione degli ossidi. Si forma all'uopo coll'ossido inumidito una piccola coppa in cui si versa un poco di mercurio, e la si colloca su d'una lamina di metallo: stabilita la comunicazione di questa col reoforo positivo, ed immerso il negativo nel mercurio, il radicale dell'ossido trasportandovisi, vi si amalgama. I cloruri, i ioduri, i bromuri metallici, se sono insolubili nell'acqua, vengono decomposti quando son fusi. Gli acidi cloridrico, iodidrico, bromidrico son pure decomposti; il cloro, il iodo, il bromo si ottengono al polo positivo, ove cioè si sviluppa l'ossigeno; e l'idrogeno si ottiene costantemente al polo negativo.

1372. Quest'azione principale però è spesso accompagnata da fenomeni secondarii, da cui derivano dei nuovi prodotti. Così, per esempio, l'ossigeno quasi sempre si combina col metallo del polo positivo quando questo è ossidabile: con un conduttore di ferro si produce l'ossido di ferro; con un conduttore di carbone si forma l'acido carbonico o l'ossido di carbonio. La decomposizione degli acidi è quasi sempre accompagnata da fenomeni secondarii, i quali derivano dalla decomposizione dell'acqua degli stessi acidi. Così l'acido solforoso sviluppa al polo negativo acido solfidrico (idrogeno solforato), ed al positivo l'acido solforico. Similmente facendo passare la corrente attraverso la soluzione diluta di acetato potassico, invece di ottenersi l'acido acetico e l'ossigeno al polo positivo, e l'idrogeno e la potassa al polo negativo, si sviluppa nel primo l'acido carbonico e l'ossido di carbonio, e nel secondo l'idrogeno carbonato. In generale può dirsi che

i sali a base di ossidi alcalini o terrosi danno al polo positivo l'acido e l'ossigeno, ed al polo negativo la base e l'idrogeno. Le soluzioni saline però a base di ossidi più riduttibili danno immediatamente il metallo sotto l'influenza della corrente, nel tempo istesso che l'ossigeno si sviluppa al polo positivo. In tal caso poi non si ottiene l'idrogeno che quando la corrente è molto possente.

1373. FARADAY, e con lui molti Fisici ammettono, che la precipitazione del metallo non è che un fenomeno secondario, cioè che la corrente trasportando l'ossido metallico e l'idrogeno dell'acqua, la riduzione ha luogo nel polo ove questi due corpi si rincontrano. Gli esperimenti però di MATTEUCCI e di DANIEL fan credere con maggiore probabilità che l'ossido sia direttamente ridotto. Essi ammettono che la corrente decomponendo soltanto l'ossido, ne spinga il metallo al polo negativo, e l'ossigeno al positivo. Che se nella riduzione dei sali alcalini si ottiene costantemente lo sviluppo dell'idrogeno, questo deriva dalla proprietà che tiene il radicale di decomporre l'acqua, il di cui ossigeno essendo assorbito dal metallo in proporzione che giunge al polo negativo, per riprodurre l'ossido, l'idrogeno in conseguenza è messo in libertà. Questa maniera di vedere presenta il vantaggio di lasciar sussistere la gran legge della proporzionalità delle correnti, di cui si parlerà in appresso; altrimenti si è obbligati ad ammettere, che mentre la corrente in un punto decompone una proporzione d'acqua o di ossido fuso, in un altro nello stesso tempo decompone una proporzione d'acqua ed un'altra di sale.

1374. Immergendosi una lamina di metallo in una dissoluzione salina, avviene talvolta che mentre il metallo disciolto è precipitato nello stato regolino, è sostituito da quello immerso. In generale i metalli che hanno per l'ossigeno una prevalente affinità precipitano dalle loro soluzioni quelli che vi hanno una minore affinità. I sali, le di cui soluzioni non sono ridotte dai metalli, son quelli a base di ossidi alcalini e terrosi, nonchè i sali di manganese, di zinco, di ferro, di cromo, di cobalto, di cerio, di urano, di titano, e di nichelo. Nella seguente serie, espressa da BERZELIUS, ciascun metallo è ridotto da quelli che lo seguono: oro, argento, mercurio, bismuto, rame, stagno, zinco.

1375. L'azione incomincia dalla prevalente affinità del metallo precipitante, il quale toglie l'ossigeno al metallo disciolto, ad esso si sostituisce, e lo separa nello stato di regolo. A questa prima azione chimica e molecolare, ne succede bentosto una seconda assai più efficace, e che proviene dal fenomeno voltaico risultante dal deposito del metallo precipitato sul precipitante. Imperciocchè in tal caso si realizza la circostanza di due metalli eterogenei in un liquido che esercita sopra ciascuno di essi una ineguale azione. Il metallo precipitante (per esempio lo zinco), elettrizzandosi negativamente, trasmette l'elettricità al metallo precipitato, da cui si diffonde nella massa liquida per rientrare nello zinco. Il metallo precipitante adunque più fortemente attaccato diviene il polo positivo di una pila, il di cui polo negativo è costituito dal metallo precipitato: l'ossigeno derivante dalla decomposizione dell'acqua, e l'acido del sale, si portano entrambi al

polo positivo, ove ossidano e salificano il metallo precipitante, nel mentre che l'idrogeno dell'acqua e l'ossido che serviva di base al sale, son trasportati al polo negativo: ivi l'idrogeno riduce l'ossido, ed una novella quantità di metallo si depone.

1376. Questi fatti suggerirono all'illustre DAVY il mezzo di sottrarre all'azione corrosiva dell'acqua del mare il rame che veste l'esterno delle navi, quando ne veniva richiesto dall'Ammiragliato Inglese. Questo metallo è attaccato dall'acqua del mare; l'ossigeno ed il cloro, derivanti dalla decomposizione dell'acqua e dei cloruri, si portano sul metallo e lo corrodono, formando l'ossido ed il cloruro di rame. Questi fenomeni però non posson più aver luogo, qualora il rame si renda elettro-negativo al pari dell'ossigeno. Nulla è di più facile; basta all'uopo metterlo in quella condizione in cui trovasi nella coppia voltiana. Quindi DAVY propose di attaccare alla rivestitura dei vascelli un metallo ossidabile, come lo zinco, od il ferro. Reso così il rame negativo, su di esso si trasportano l'idrogeno e le basi alcaline e terrose; e l'ossigeno ed il cloro si portano sull'altro metallo. L'esperienza bentosto dimostrò al dotto autore, che non bisogna punto impiegare una gran superficie del metallo positivo; altrimenti la calce, e la magnesie depositandosi abbondevolmente sul rame vi formerebbero una incrostazione, che divenendo bentosto il ricovero di animali e di vegetabili marini, ritarderebbe il cammino del naviglio. Quindi egli pensava che il metallo positivo non deve occupare che la 150^a parte della superficie totale. Queste sperienze intanto, che presentano il più grande interesse, non

sono state seguite dopo la morte del loro benemerito autore.

1377. Molte sono state le opinioni dei Fisici nel dar conto della decomposizione dei corpi, e del trasporto dei loro elementi per effetto della elettrica corrente, le quali alla lor volta furono accolte o rigettate. Ora però si ripetono questi dall' energia delle attrazioni e ripulsioni elettriche. Quando i due reofori si mettono in contatto di un corpo decomponibile dalla elettrica corrente, gli elementi di quello si elettrizzano in senso opposto, alcuni cioè positivamente, ed altri negativamente; le molecole positivamente elettriche sono attratte dal polo negativo, mentre sono da questo respinte quelle elettriche negativamente; ed all' opposto mentre dal polo positivo sono attratte le altre negativamente elettriche, ne sono respinte quelle che sono elettriche positivamente. Così per esempio nell' acqua, i due elementi che la compongono, si separano in tutta la linea traversata dalla corrente, si muovono in direzione contraria, l' idrogeno verso il polo negativo, l' ossigeno verso il positivo, e successivamente si ricombinano riproducendo l' acqua, in modo da non rimanere liberi che gli elementi delle due molecole estreme prossime ai poli. Le particelle elementari adunque non passano da un polo all' altro senza incontrarsi con altre particelle elementari; e quelle che si mostrano ai poli rimangono libere, perchè la corrente eccita nelle molecole contrarie, con cui eran combinate, un' affinità chimica più forte per le molecole elementari contrarie della molecola composta prossima (1). I prodotti dell' a-

(1) DE LA RIVE suppone le correnti elettriche dotate di

zione chimica della corrente si mostrano sulle superficie metalliche dei reofori unicamente perchè non vi si possono combinare , e perchè nella loro sostanza non può aver luogo quella serie successiva di decomposizioni e combinazioni, ammessa nell' interno della massa percorsa dalla corrente.

1378. L' illustre FARADAY ha applicato a questi fenomeni di decomposizione una nomenclatura, generalmente oggi introdotta nella scienza. Egli chiama *elettrodi* i reofori o i fili congiuntivi della pila, riguardandoli quasi come le porte per le quali la corrente esce , ed *elettroliti* i corpi i di cui elementi sono separati dalla elettricità. Quindi *elettrolizzare* dinota decomporre per mezzo della pila. Ha distinto poi gli elettrodi col nome di *anodo* (in alto), e di *catodo* (in basso) : l' anodo indica l' elettrolito pel quale entra la corrente elettica, o polo positivo ; e catodo quello pel quale la corrente esce , o polo negativo. Queste espressioni alludono ad una gran corrente elettrica circolante d' intorno alla terra dall' est all' ovest, e causa della deviazione dell' ago magnetico. Il senticro in alto poi allude

affinità per le molecole chimiche , e per effetto della quale ha luogo la decomposizione dei chimici composti , i di cui componenti vengono trasportati dalle correnti. Così quando la corrente elettrica traversa p. e. l' acqua , la corrente positiva porta seco l' idrogeno , la negativa l' ossigeno. Quindi finchè la corrente traversa un conduttore liquido può trasportare con essa le molecole attratte ; ma quando perviene al polo metallico , potendovisi introdurre la sola elettricità, ivi depone le molecole materiali. L' ossigeno in tal modo trovasi trasportato e deposto sul reoforo positivo , o l' idrogeno sul negativo della pila.

all' est, a quello cioè pel quale il sole si eleva , 'ed il sentiero in basso all' ovest, o a quello pel quale l' astro tramonta.

1379. I fenomeni di decomposizione e di trasporto di cui si è fatto parola son ligati alle seguenti leggi generali , la di cui prima scoperta è dovuta al prelodato FARADAY.

1380. — 1.° Una corrente ha un potere chimico che è in rapporto con la quantità assoluta dell' elettrico , talchè la quantità del corpo decomposto dipende dalla quantità assoluta di elettricità che vi si spinge a traverso.

1381. — 2.° Una medesima corrente decompone eguali proporzioni di corpi differenti. Fa d' uopo intanto osservare che questo rapporto non consiste nel peso del corpo decomposto, ma bensì nel numero delle proporzioni o equivalenti chimici che sono separati (1).

(1) I Chimici per rendere paragonabili i risultati delle analisi , esprimono la composizione de' corpi in centesimi, come per esempio

88,9 Ossigeno	7,47 Ossigeno
11,1 Idrogeno	92,83 Piombo
100,0 Acqua	100,00 Ossido di piombo

Siccome questi numeri indicano semplici rapporti , e non quantità assolute , si rappresenta perciò l'ossigeno con un numero costante

100,0 Ossigeno	100,0 Ossigeno
12,5 Idrogeno	1294,5 Piombo
112,5 Acqua	1394,5 Ossido di piombo

Quindi si deduce cho 100 parti di ossigeno in peso si com-

Così un' istessa corrente decompone per esempio una proporzione d' acqua (112, 5), una proporzione d'acido cloridrico (452, 13), una proporzione d'ossido di piombo (1394, 5). MATTEUCCI ha osservato che qualora si opera sopra combinazioni di secondo ordine, le quali risultano dall' unione di un elemento binario con un' altro anche binario , l' azione è la stessa che se l' elemento binario fosse stato isolatamente trattato. Così, per esempio, la medesima corrente ripristina la medesima quantità di piombo, tanto se agisce sull' ossido che sull' acetato di questo metallo. Lo stesso ha osservato che qualora la corrente agisce su di un miscuglio di diversi composti , sì l' uno che l' altro è decomposto, e talvolta una porzione di ciascuno; ma sempre la quantità totale rappresenta una proporzione chimica. Per verificare questa gran legge della proporzionalità della corrente, fa d' uopo interrompere il circuito con più vasi, in ciascuno de' quali si produca una diversa decomposizione. Si proporzionano tutti i risul-

binano con

12,5	Idrogeno
1294,5	Piombo

Ripetendosi lo stesso per tutti gli altri corpi elementari , si è formato una serie di numeri per indicare il rapporto in cui essi si combinano coll'ossigeno. Questi si dicono *equivalenti* o *numeri proporzionali*, imperocchè esprimono quantità equivalenti de' diversi corpi, che richiedonsi per produrre lo stesso effetto, per formare cioè de' composti con 100 parti in peso di ossigeno , il quale per convenzione è stato prescelto come termine di paragone.

tati alla quantità dell' acqua decomposta in uno degli apparati (§. 4369. Tav. 18 fig. 9), il quale funziona da *Voltmetro* , ossia da misuratore della corrente. Il principio su cui fondasi l' uso di questo apparato è che » l' azione chimica decomponente della corrente è co- » stante per una quantità costante di elettricità , non » ostante le variazioni che possono avvenire nella sua » intensità , nella dimensione de' fili , o delle lamine » impiegate, e nella natura de' corpi conduttori o non » conduttori a traverso i quali passa la corrente elettrica » ; ed avendo FARADAY osservato che l' acqua si decompone più facilmente qualora è acidolata coll' acido solforico, si è in essa riconosciuto il *liquido indicatore* il più convenevole. Se più voltometri simili si congiungono nello stesso circuito, la corrente unica che li percorre scompone in tutti la medesima quantità di acqua. Se poi tre di questi apparecchi dispongonsi in modo che la corrente dopo di aver traversato il primo di essi si divida tra gli altri due , per quindi ricomporsi di nuovo, la somma delle quantità di acqua scomposta dalle due correnti derivate risulta sempre eguale a quella decomposta nel primo voltmetro. Se adunque la facoltà decomponente della corrente è la stessa in tutte le parti del circuito, e nelle correnti derivate risulta proporzionale alla loro intensità, se ne deduce che la potenza chimica di una corrente è proporzionale alla quantità dell' elettricità in moto nel circuito.

4382. — 3.^o La quantità chimica distrutta da una corrente è eguale alla quantità chimica che ha prodotto la stessa corrente; talchè una corrente che produce una proporzione di zinco quando questo si discioglie, de-

componc esattamente una proporzione chimica di acqua, di un ossido , di un acido, oppure di un sale.

1383. Essendosi osservato dagli illustri Chimici DAVY e BERZELIUS , che l'idrogeno , i metalli ed altri corpi si sviluppano sempre al polo negativo della corrente, e che l'ossigeno , il cloro , il iodo , gli acidi si ottengono sempre al polo positivo , e che tutte le chimiche combinazioni , anche le più energiche, sono decomposte dalla corrente in modo che i loro elementi si separano secondo le indicate direzioni; seppero da questi fenomeni chimici della elettricità trarne la più bella conseguenza, quella cioè della *teoria elettro-chimica dell'affinità*. Essi adunque riguardano le molecole dei corpi dotate di stati elettrici contrarii a quello del polo o della estremità della pila ove si portano ; e che perciò l'affinità non è che l'effetto dell'attrazione elettrica , della neutralizzazione degli stati elettrici contrarii appartenenti alle molecole elementari ; e l'affinità elettiva quello di una più forte polarità elettrica in certi corpi che in altri. Quando due corpi si combinano con un certo grado di affinità , la loro unione ha luogo con sviluppo di luce e calore , e vi è pure sviluppo di luce e calore quando due opposti stati elettrici si scaricano, si neutralizzano: dunque, secondo questa ipotesi , la combustione è l'effetto della scarica degli stati elettrici contrarii dei corpi che si combinano. Ad onta delle gravi obbiezioni che si fanno a questa dottrina, fa d'uopo convenire, che secondo lo stato attuale delle scienze fisico chimiche , molti fenomeni potrebbero con difficoltà spiegarsi, senza ammettere le affinità chimiche , e tutte le loro modificazioni, vedute in una maniera generale, come effetti della polarità elettrica degli atomi.

1384. Se la corrente di una pila attraversa una soluzione salina per mezzo di due reofori di platino, si eccita in questi una così detta *corrente secondaria*, opposta alla precedente, la quale si riconosce esplorandoli per mezzo del galvanometro. Mettendo infatti le sole due lamine di platino in contatto coi fili di questo apparato, si scorge una forte corrente diretta in senso contrario di quella della pila; talchè il reoforo da cui usciva la corrente della pila è quello in cui entra la corrente secondaria, ed al contrario. L'origine di questa corrente si rileva dall'esame del seguente fatto. Se due lamine di platino congiunte con i fili del galvanometro, e bagnate l'una di un acido, e l'altra di un alcali, s'immergono nell'acqua, si produce una corrente diretta nel liquido dalla lamina alcalina all'acida. Or quando la corrente di una pila si fa attraversare per una soluzione salina mediante due elettrodi di platino, su d'uno di questi si raccoglie l'acido, sull'altro l'alcali (§. 1372). Distaccate poi gli elettrodi dalla pila ed immersi nell'acqua, è chiaro che debb' esservi corrente secondaria, la quale deve durare finchè durano gli strati d'acido e d'alcali: e siccome l'elettrodo positivo da cui usciva la corrente della pila si ricopre d'acido, e di alcali quello pel quale entrava, così la corrente secondaria determinandosi dall'alcali all'acido, deve risultare contraria a quella della pila. Se poi si spinge la corrente attraverso dell'acqua pura, pel difetto del sale, invece di aversi alcali ed acido separati sugli elettrodi, si raccoglie l'ossigeno sulla lamina positiva, e sulla negativa l'idrogeno. Una interessante esperienza di MATTEUCCI prova che questi due gas aderiscono sulle lamine metalliche, e che si ricom-

pongono in acqua qualora si espongono nelle favorevoli condizioni. Partendo da questo fatto GROVE compose la sua pila a gas (§. 4345). Questi due elettrodi quindi debbono generare una corrente, diretta nel liquido dalla lamina in cui si svolse l'idrogeno a quella su cui si svolse l'ossigeno, in direzione cioè opposta a quella della pila.

1385. Le cose precedentemente esposte danno ragione della *pila secondaria* del Prof. di Jena RITTER. Costituita di dischi di un sol metallo, specialmente di rame, sovrapposti coll' intermedio bullettino di cartone bagnato tra l'uno e l'altro. Questo apparato non concepisce da se che una debolissima elettricità, sensibile appena ai delicatissimi organi di una rana preparata; ma tenendosi per qualche tempo nel circuito d'una pila isolata, divien capace di promuovere una corrente secondaria in direzione opposta alla originante; talechè rimossa da tal sito produce per un certo tempo gli ordinarii effetti degli apparati elettromotori, benchè più deboli; e la sua azione dopo di essersi prontamente indebolita, ben presto cessa affatto (1). Unendosi nello stesso modo le estremità di una pila isolata con un imperfetto conduttore, come per esempio con un nastro umido, la scarica di quella non è istantanea; e togliendosi dopo qual-

(1) Il benemerito Prof. di Modena Cav. MARIANINI attribuisce l'efficacia delle pile secondarie ad una alterazione prodotta dalle correnti voltiane nell'elettrotismo dei metalli sottoposti alla loro azione. *Sulle pile secondarie del Ritter*, Memoria letta alla sessione dell'Ateneo Veneto del 16 marzo 1826 — *Gior. di Fis. e di Chim.* di Pavia tom. 9 dec. 2 p. 349, e tom. 19 p. 253 an. 1826,

che minuto di contatto la comunicazione, ogni estremità del conduttore è nello stato elettrico di quello della pila che ha toccato. L'invenzione però di queste pile secondarie non è del tutto dovuta a RITTER, avendo VOLTA provato prima di lui, che una striscia di carta imbevuta di acqua pura, messa in contatto colle estremità di una pila in modo da scaricarla, acquistava negli estremi l'elettricità dei corrispondenti poli della pila.

1386. Una delle principali cagioni che indeboliscono l'efficacia di una pila, è senza dubbio la corrente secondaria. I depositi che si formano sugli elettrodi, e sulle stesse coppie, producono una corrente secondaria, la quale andando in direzione opposta di quella della pila ne indeboliscono la corrente.

1387. Tra i fenomeni dovuti all'azione chimica della corrente sonovi quelli della *Metallo-cromia*. Il Dott. FUSINIEMI ottenne colla pila i colori sopra un filo d'oro di commercio, che è allegato a poco rame, al polo positivo, dove si svolgea l'ossigeno decomponendo l'acqua, mentre restò scolorato simile filo d'oro al polo negativo, dove si svolgea l'idrogeno; onde ne attribuì la causa ad una superficiale ossidazione. Questo fenomeno cromatico richiamò alla mente de' Fisici quelli che nel decorso secolo eransi prodotti da PRIESTLEY e da BECCARIA con le scariche o scintille elettriche dirette su lamine d'oro, d'argento, di rame, di stagno, di piombo, di ferro, di bronzo, ec. È merito però dell'illustre Prof. Cav. NOBILI avere allargato mirabilmente questo argomento, ond'è ch'ei giunse ingegnosamente a perfezionare quest'arte novella, che nei progressi delle odierne applicazioni elettrometallurgiche si rende sempre più

interessante e preziosa. L'apparato all' uopo impiegato è il seguente (Tav. 24 fig. 5). Una punta di platino si dispone verticalmente su d'una lamina dello stesso metallo, oppure d'acciaio, di argento, di ottone . . . situata orizzontalmente sul fondo di un vase di vetro, o di porcellana, alla distanza di circa mezza linea. Si versa nel vase la soluzione di acetato di piombo in modo da ricoprire non solo la lamina di metallo, ma anche di due o tre linee l'estremità della punta. Si mette questa in comunicazione col polo negativo di una pila di 42 o 45 elementi alla WOLLASTON, e la lamina col polo positivo; e nel momento in cui si chiude il circuito voltaico si forma sulla lamina, precisamente al di sotto della punta, una serie di anelli colorati, simili a quelli prodotti dalla sovrapposizione di due lenti nell'esperimento newtoniano (§. 1033). Volendo due serie di apparenze, come è espresso dalla figura, fa d'uopo tener distaccati ambi i fili dalla sottoposta lamina. In tal caso una porzione della corrente che passa quel liquido traversa la lamina, onde in corrispondenza degli estremi dei due fili si formano sulla lamina due poli secondarii, che sono perciò di nome contrario. La corrente che esce da uno dei fili entra nel polo sottoposto della lamina, e viceversa nell' altro.

1388. La spiegazione del NOBILI, generalmente ammessa è la seguente. Appartenendo la lamina di platino al polo positivo della pila, gli elementi elettronegativi, che in tal caso sono l'ossigeno dell'acqua e l'acido dell'acetato di piombo, si depongono su questo polo senza attaccare in alcun modo il platino, ma applicandovisi sopra; mentre le molecole della base salina metallica e l'i-

drogeno dell'acqua concorrono al polo negativo. Questi depositi producono così degli strati estremamente sottili aderenti alla lamina, in cui avviene la colorazione. La scienza però manca tuttavia di un'analisi esatta di questo fenomeno. L'uso di dare all'acciaio un colore violetto per difenderlo dalla ruggine deriva da questo principio, cioè dall'ossigeno dell'aria che non ossida il metallo, alterandone la natura, ma fissandovisi sopra in forma di sottile strato.

1389. La *Galvanoplastica* è un'arte novella, colla quale si fanno medaglie, bassi rilievi, ed altri oggetti d'arte, spingendo sui modelli un deposito di rame mediante la corrente elettrica. Il metallo vi si depone con tanta perfezione, che i numerosi dettagli del modello si trovano riprodotti colla maggiore esattezza.

1390. L'inventore di quest'arte maravigliosa è senza dubbio l'illustre JACOBI (1). Pubblicatasi appena questa scoperta, varii cultori delle fisiche discipline le diedero maggiore incremento e perfezione. Non debbonsi all'uopo tacere i nomi di SPENCER, SOLLY, KOBELL, SMEE, INGE, SOYEZ, BOQUILLON, e VOGEL; nonchè quelli degli Italiani POLITI, MARIANINI, COZZI, e ZANTEDESCHI (2), i quali quasi sdegnosi di veder rapita all'Italia questa nuova palma, furono tra i primi a mostrarsi operosissimi in queste belle ricerche.

1391. È quest'arte fondata sulle due proprietà, cioè che i metalli si depositano sulla lamina negativa, e che

(1) *La Galvanoplastica, ossia l'arte per ottenere immediatamente in via galvanica lastre o altre date forme solide di rame dalle soluzioni di questo metallo*, Memoria del Dott. M. H. JACOBI, Milano 1841.

(2) ZANTEDESCHI, *Dell'Elettrotipia. Memorie*. Venezia 1841.

sostituendosi a questa un modello, il metallo vi si depone prendendone esattamente la forma.

4392. I modelli per la galvano-plastica si fanno di rame o di qualunque altra specie di metallo, purchè sia incapace di precipitare la dissoluzione in cui s'immerge: così un modello di zinco o di ferro non puolsi impiegare per la soluzione di rame. Con un modello in rilievo si ottiene un cavo, il quale può alla sua volta servire di modello per ottenere altre medaglie in rilievo. Le forme possono fare anche di cera o di stearina; ma in generale son desse men buone delle metalliche. Qualora le forme si fanno di una materia non conduttrice, bisogna metallizzarne la superficie, e renderle così suscettibili di permettere il passaggio alla corrente. JACOB ha consigliato all'uopo il grafite, ossia la piombagine; ma per i piccoli saggi si preferisce l'argento. Bagnata la superficie della forma colla soluzione di nitrato di argento, si fa disseccare, e quindi si espone alla luce del sole che repristina il metallo: il gas idrogeno, ed i vapori dell'alcool producono lo stesso effetto. In seguito la forma si sospende ad un filo o ad una lamina conduttrice, avendo tutta la cura di non lasciare alcuna interruzione di continuità tra la superficie metallizzata ed il conduttore, ad oggetto di presentare alla corrente un libero passaggio. Si coprono ancora di cera fusa o di vernice di lacca tutte quelle parti che vogliono preservare dalla incrostazione metallica.

4393. Il più semplice fra tutti gli apparati proposti per precipitare i metalli, è quello di DANIELL. Esso costa di un truogolo di terra porosa contenente l'acqua debolmente acidolata, ed un cilindro di zinco a-

malgamato. Lo stampo poi è immerso nella soluzione satura di solfato di rame, ed è congiunto allo zinco mediante un filo di metallo (Tav. 24 fig. 6).

4394. Il seguente apparato, abbenchè men semplice del precedente, è tuttavia impiegato con successo. Nel vase di vetro V (Tav. 24 fig. 7) si versa la soluzione di solfato di rame, nella quale si sospendono dei cristalli dello stesso sale ad oggetto di conservarla sempre satura. Lo stampo o modello *m* si colloca nel fondo dello stesso vase, e per mezzo del filo metallico *f, f* si congiunge alla lamina di zinco amalgamato *z*. È questa immersa nel vase di vetro V' V', chiuso nel fondo da una vescica o da altra membrana porosa, e ripieno di una soluzione di sal marino, o di acqua acidolata coll'acido nitrico o solforico. Tutte le parti dello stampo e del filo che vogliansi difendere dal deposito si coprono di cera liquefatta (§. 4392). Congiunti appena i due reofori *f, f* l'azione comincia; e dopo tre o quattro giorni l'incrostazione metallica ha acquistato tal grado di spessezza da potersi distaccare dal modello.

4395. Un apparato sommamente ingegnoso si è immaginato da MASON, col quale un equivalente di zinco riduce due equivalenti di rame. Un truogolo di terra porosa, contenente l'acqua acidolata e lo zinco amalgamato *z*, è immerso nella soluzione di solfato di rame contenuta nel vase A (Tav. 24 fig. 8). Un filo di metallo *f* congiunge lo zinco collo stampo *s*, immerso nella soluzione dello stesso sale contenuta in una seconda cellula B, detto vase a decomposizione; mentre un' altro filo *c* congiunge lo stampo *m*, immerso nel liquido

del primo vase A , con una lamina di rame *r* immersa nel liquido del secondo vase B. Questa lamina divenendo polo positivo relativamente alla seconda cellula B, compie la serie; talchè la corrente elettrica dirigendosi dallo zinco allo stampo *s*, su di questo si depone il rame della soluzione contenuta in B, un peso eguale di rame della lamina *r* allora si discioglie, e la corrente retrocede verso la medaglia *m* immersa nel liquido di A; ivi riducendosi il rame del solfato di questa base, il circuito si completa.

1396. I lavori galvanoplastici possono farsi ancora in vasi separati, in cui si trasmette la corrente. Questo metodo è in generale molto vantaggioso, e di facile esecuzione; la corrente puol'esser meglio regolata, e puolsi operare ancora contemporaneamente con molti stampi, o con modelli di grandi dimensioni. Una pila di DANIELL o di SMEE, composta di un numero maggiore o minore di elementi, secondo l'intensità della corrente che si richiede, comunica mediante i suoi poli con un vase pieno di soluzione di solfato di rame (Tav. 24 fig. 9). Il modello comunica collo zinco, talchè il polo positivo consiste in una lamina di rame comunicante coll'elemento rame della pila. Nel mentre che sullo stampo precipita il rame ripristinato, l'ossigeno e l'acido solforico si combinano coll'opposta lamina di rame e riproducono il solfato; il quale sostituendo quello che lo stampo decompone, conserva la soluzione sempre satura (1).

1397. L'intensità della corrente ha una influenza

(1) *Nouveau manuel complet de Galvanoplastie, ou elements d'Electro-Metallurgie etc* par M. SMEE, Paris 1845.

notabile sulla bontà dei risultati: in generale le correnti deboli sono le più vantaggiose. In tal caso però l'esperienza vale assai più dei precetti. Quando lo strato di rame ha acquistato una competente spessezza, s'introduce leggiermente una lamina di coltello fra lo stampo e l'oggetto, e con un leggiero sforzo se ne distacca.

1398. L'illustre Professore di Pavia L. V. BRUGNATELLI sin dal 1802 avea escogitata la maniera di dorare i metalli per mezzo della elettricità. Conosciutasi da GAGLIARDO l'importanza di questa scoperta, si fece sollecito di riferirla sotto l'aspetto artistico e manifatturiero nella sua *Biblioteca di Campagna* (1); qual metodo è stato richiamato ed esteso nel 1843 dall'esimio Prof. GRIMELLI (2), e quindi dai chimici modenesi F. SELMI (3) e G. GIORGINI ripetuto e confermato nel 1844. DE LA RIVE però è stato il primo ad ottenere nel 1840 la doratura dell'argento e dell'ottone per via umida col mezzo della corrente elettrica prodotta da una coppia, della quale l'oggetto da dorarsi costituisce l'elemento negativo: e da quest'epoca l'elettro-doratura è divenuta un argomento d'industria manifatturiera molto interessante.

1399. Tra i diversi liquidi auriferi all'uopo impiegati, quello proposto da RUOLZ ha meritato maggior

(1) Milano 1800-1810. . . *Arti e Manifatture: Maniera d'indorare le medaglie ed i fini pezzi di argento col Galvanismo*, del sig. BRUGNATELLI P. Professore di Chimica nella R. Università di Pavia.

(2) *Storia scientifica ed artistica dell'Elettrometallurgia originale italiana* cc. del Prof. GEMINIANO GRIMELLI, Modena 1844.

(3) *Manuale dell'arte d'indorare* cc. Reggio 1844.

to comprende la doratura, l'ingargentatura, la platinatura, la ramatura, la piombatura, la stagnatura, la cobaltatura, la niccolatura, e la zincatura (1), che i limiti di una istituzione vietano di esporre. È facile d'altronde intendere che la precipitazione degli altri metalli si ottiene con processi analoghi a quelli precedentemente esposti.

1403. Il Prof. KOBELL di Monaco ha utilizzato le correnti per la *Elettrotipia* o *Galvanografia*, per ottenere cioè lamine incise. Il suo metodo consiste nell'eseguire un disegno, come in quelli ad acquarella, sopra una lamina di rame ben tersa con una vernice, lasciando scoperti quei tratti nei quali debbono apparire i chiari. Dalla grossezza della vernice dipendono adunque gli oscuri e le mezzetinte. La vernice si compone di essenza di trementina e di perossido di ferro. Quando il disegno è disseccato, la lamina diviene uno stampo, su del quale si determina un deposito di rame, al quale deve dare una spessezza convenevole per resistere alla pressa. Si ottiene così un rame inciso dal quale se ne ritraggono le copie nel modo consueto.

1404. Il Dott. HAMMANN di Ginevra ha felicemente applicato l'elettrodoratura all'incisione ad acqua forte. Invece di coprire di cera la lamina di rame da incidersi, egli la dora, e poi corrode coll'acqua-forte il disegno, che dovrebbe tracciare col bolino nel modo consueto. L'oro preserva tutte quelle parti che l'artista non vuole incise. Questo metodo presenta il doppio van-

(1) *Comptes Rendus de l'Academie de Paris* an. 1841 p. 998.

taggio di una maggior finezza e precisione nei dettagli. e di poter correggere il rame dopo la stampa delle prime prove, ciocchè è ben difficile, e quasi impossibile con i rami comuni.

DEGLI EFFETTI FISIOLÓGICI.

1405. Toccandosi i poli della pila colle mani bagnate di una soluzione salina, talchè aprisi la corrente dal corpo umano, si riceve una scossa, la di cui energia dipende meno dalla suscettibilità nervosa dello sperimentatore che dalla forza della pila. È dessa continua ricaricandosi da se la macchina, e si avverte nelle mani, nelle braccia, ed anche sino al petto, secondo il grado di energia dell'apparato; e potrebbe esser funesta qualora provenisse da una pila composta di un gran numero di elementi. Sono poi queste scosse nella stessa pila più forti, se con un pezzo di metallo preso dapprima si tocchino i poli, aumentandosi così la superficie di contatto. Tale scossa infine può riceversi ad un tempo da due o più persone tenendosi tra esse in cerchio con mani bagnate, od altrimenti comunicando tra esse per mezzo di conduttori. Ordinariamente però sono soltanto scosse le persone che toccano i poli, non altrimenti lo sono meno le intermedie tra quelle che per la scarica d'una boccia di Leida formano l'arco conduttore (§. 1263 *nota*).

1406. La corrente che passa per il nostro corpo non agisce nello stesso modo in tutte le sue parti: quella che discende per la direzione dei nervi produce scosse, e sembra avere poco effetto sulla sensibilità; mentre

quella che percorre i nervi rimontando verso la loro rigine spiega nn'azione vivissima sulla sensibilità (1): Così per esempio, facendosi passare la scarica della pila attraverso le braccia, quello che comunica col polo positivo, e nel quale per conseguenza la corrente ascende i nervi, prova una sensazione dolorosa; mentre che il secondo è la sede delle scosse, ma senza dolore. Queste scosse e queste pnture si ripetono tante volte per quante volte s'interrompe e si ristabilisce il circuito o la comunicazione de' due poli. Serbandosi il circuito senza interruzione, dopo la prima pntura nulla si avverte per pochi momenti; ma si sente dopo di questi nel punto del contatto un dolore senza scossa, molto più acuto se la parte è priva di pelle, come una piaga, una ferita ec. e comunica col polo negativo anzichè col po lo positivo; cioè se trasmette anzichè riceve l'elettrica corrente. Introducendosi egualmente nel circuito la lingua si avverte nn sapore acido od alcalino, secondochè il fluido entra od esce dal detto organo (2); e si osserva un piccol lampo, comprendendo nel circuito l'oc-

(1) Il Prof. Cav. MARIANINI ha osservato in proposito un fatto singolare. Se l'elettrica corrente passa i nervi *pel verso delle loro diramazioni* produce una contrazione muscolare quando entra, ed una sensazione quando resta; ed al contrario se diffondesi la corrente *pel verso opposto delle loro diramazioni* produce una sensazione mentre dura ed una contrazione quando resta. *Ann. de Phys. et de Chim.* tom. 40 p. 225.

(2) Scomponendo la corrente i sali sciolti nella saliva, porta gli acidi all'elettrodo positivo e le basi al negativo; ond'è acido il sapore se la corrente entra pel reoforo nella lingua, ed alcalino se n'esce.

chio, od altra parte della testa ad esso vicina, specialmente alquanto bagnata. E portando negli orecchi i due reofori, oltre la scossa nella testa si sente un suono o rumore confuso.

4407. Le numerose sperienze fatte sopra i cadaveri e sugli animali viventi, non lasciano alcun dubbio intorno all'efficace azione delle correnti su i corpi degli animali. ALDINI ed URE con una corrente sufficientemente forte e convencvolmente diretta producevano i movimenti delle braccia, delle mani, delle gambe, del capo, della lingua, degli occhi dei cadaveri; ristabilivano finanche la respirazione, e facevano quasi rivivere gli uomini. Da una serie di esperimenti istituiti da MAGENDIE, ANDRAL, ROULIN e POUILLET sulla irritabilità cagionata dalle correnti elettriche, risulta che gli animali caduti in asfissia tornano subito in vita (1), avendo essi così risuscitato più volte dei conigli e dei porci d'India asfissati da più di mezzora.

4408. Nei primi tempi del galvanismo molteplici esperimenti furono praticati per rilevare gli effetti terapeutici dell'elettricità idrometallica. WILSON PHILIPS restituì ad un coniglio la digestione sospesa per la sezione dei nervi che vanno allo stomaco. Si è tentato specialmente di curare le nevralgie, la gotta, i reumi, le paralisi, e tutti i morbi prodotti da atonia (2). Dirigevansi le correnti come le scariche elettriche, per mezzo

(1) *Manuale pratico per la cura degli apparentemente morti* ec. del Prof. CAV. MANNI, Napoli 1835.

(2) Per i casi in cui si dee impiegare l'elettricità, e del modo di applicarla, si consulti il *Dizionario di Medicina* trad. dal Francese.

cioè di armature metalliche disposte da ambe le parti degli organi infermi, aumentandosi gradatamente il numero delle coppie per rendere le scosse più efficaci. Data poi all'apparato elettromotore maggior precisione, se n'è proporzionata la forza in modo sicuro; ed essendosene quindi ottenuti effetti più positivi, non sembra più dubbia la cura di taluni morbi operata con opportuno trattamento.

1409. Questi ed altri effetti fisiologici si possono anche procurare coll' elettricità di strofinio, non differendo gli uni dagli altri che nel modo dell'eccitamento. La scossa prodotta colla boccia di Leida o colla pila proviene sempre dall'irritazione de' nostri organi prodotta dal passaggio del fluido elettrico, il quale escendo istantaneo colla boccia e quasi continuo colla pila produce un diverso sentimento. Non è poi questa continuazione che una scarica rapidamente ripetuta pel congegno dell'apparato elettromotore. Toccandosi infatti colle mani gli estremi della pila, l'elettricità di questa si scarica attraverso degli organi e produce i cennati effetti. Discaricatosi intanto appena l'apparato, si ricarica bentosto. Questa nuova carica però è più pronta della scarica che segue attraverso degli organi animali, per esser questi imperfetti conduttori. La prima corrente elettrica, che spiccasi dalla pila, è quindi incalzata dalla seconda, questa dalla terza, e così successivamente, onde quasi continua ricesce la scossa e continua l'eccitata sensazione, e quindi più incomoda di quella che si prova colla scarica di una boccia di Leida di egual tensione.

1410. Il rapido modo con cui si carica e scarica la
 Fis. VOL. II. 32

pila prova di doversene in gran parte l'energia alla deferenza delle sostanze conduttrici, perchè quanto più queste sono tali, tanto più presto circola la corrente elettrica. Perciò debbonsi bagnar le mani per ricevere la scossa, che è più forte quando toccansi i poli con pezzi metallici bagnati (§. 4405); poichè quanto più ampio e deferente è il corpo in cui deve insinuarsi, per cui deve muoversi, e donde sgorgar deve l'elettrica corrente, tanto più facilmente questa vi s'insinua, muove, e ne sgorga.

4411. I Fisiologi han voluto stabilire sull'azione delle correnti la spiega dei fenomeni vitali (1). Il Dott. DONNÈ ha voluto vedere nel corpo umano un insieme simmetrico di pile, i di cui poli positivi sono gli organi che segregano gli umori acidi, ed i negativi all'opposto quelli che segregano gli alcalini. I vegetabili avendo anch'essi fornito delle correnti, quando si sono introdotti gli estremi del filo galvanometrico nelle differenti loro parti, han convalidato la teoria elettro-vitale. Convien confessare però che i fenomeni non si prestano punto a queste spiegazioni; e che troppo tempo vi vuole ancora, e forse giammai si perverrà a dare la vera spiegazione dei fenomeni della vita.

4412. Intanto sono troppo interessanti le osservazioni sulle correnti muscolari, dovute quasi interamente all'illustre Prof. Cav. MATTEUCCI, per non doverle tacere (2). Ha dimostrato questo benemerito italiano

(1) *Osservazioni ed esperienze elettro-fisiologiche dirette ad istituire la elettricità medica* del Prof. G. GRIMELLI, Modena 1839.

(2) *Traité des phenomenes electro-physiologiques des animaux*

nella rana, solo animale sin' oggi studiato, una corrente propria muscolare, che esiste senza alterare i muscoli. Questa corrente è diretta dai piedi alla testa. Per osservarla, si taglia una rana nella metà della spina dorsale, si decortica, e le si tolgono gli intestini ed i muscoli che congiungono la spina dorsale colle cosce: ridotta così ai membri posteriori con un pezzo di spina, e i due fasci di nervi spinali, si tuffa il pezzo di spina ed una porzione di questi nervi nell' acqua salsa, e le gambe in un altro vase contenente la stessa soluzione salina: immergendo nei due liquidi i fili di un galvanometro, si ha una deviazione. Il sistema nervoso non esercita quì alcuna speciale azione; esso non opera altrimenti che la massa muscolare cui è impegnato: togliendosi infatti i nervi spinali, i pezzetti di midolla spinale, e tutti i filamenti nervosi visibili, l' effetto non si cangia. L' elemento elettromotore si compone realmente dai muscoli della coscia e della gamba, e puolsi ancora stabilire la corrente colla sola gamba della rana.

1413. Oltre di questa corrente propria della rana, esiste in tutti gli animali, e nella rana istessa, una corrente muscolare, la quale si manifesta tutte le volte che l' interno di un muscolo di un animale recentemente ucciso, per mezzo di un conduttore si mette in contatto colla sua superficie. Questa corrente è sempre diretta dall' interno alla superficie del muscolo.

1414. La corrente muscolare varia d' intensità nei muscoli dei diversi animali: varia col grado di nutrizio-

suivi d' études anatomiques sur le système nerveux et sur l'organe électrique de la torpille, par P. SAVI. Paris 1844.

ne del muscolo; è dessa sempre più forte nei muscoli ingorgati di sangue ed infiammati: la sua durata dopo la morte è di tanto più corta per quanto più l'animale è elevato nella catena degli esseri: è dessa finalmente affatto indipendente dall'integrità del sistema nervoso e sensitivo, e dall'attività di questo sistema. Non tenendosi conto dell'influenza nervosa sulla nutrizione del muscolo, essa si riduce, nella corrente muscolare, a quella di un corpo conduttore che trasmette la corrente sviluppata nella parte del muscolo la più vicina.

4415. La causa propria di questa corrente è, secondo MATTEUCCI, l'azione chimica che produce la nutrizione del muscolo. Il sangue arterioso agendo sul muscolo ne risulta una corrente, che la tessitura organica del muscolo istesso permette di acquistare. Il sangue arterioso si può in tal caso paragonare al liquido attivo di una pila; la fibra attaccata al metallo che subisce l'alterazione chimica nella pila istessa; e la superficie del muscolo, od ogn' altra parte che non è fibra muscolare, rappresenta la seconda lamina metallica, cioè la conduttrice. La corrente adunque va dalla parte rinfancata alla superficie conduttrice del muscolo.

CAPITOLO IV.

DELL' ELETTRICITA' SVILUPPATA DAL CALORICO.

4416. Un disquilibrio di temperatura cagiona in generale nei corpi uno sviluppo di elettricità, la quale ora si costituisce nello stato di tensione, qualora i corpi sono poco conduttori, come i cristalli, ed ora nello sta-

to dinamico come nei metalli. LÉVY fu il primo ad osservare che un certo minerale proveniente dal Ceylan, e chiamato *tourmaline*, riscaldato attira i corpi leggeri, e che ERICSON ne dimostrò l'azione nella elettricità. Riscaldandosi adunque gradatamente questo fossile singolare, oggi detto *turmalina*, si elettrizza, cessa d'essere elettrico a temperatura stazionaria, e si elettrizza di nuovo raffreddandosi, ma inversamente. Or questo duplice elettrizzamento importa necessariamente lo sviluppo dei due opposti stati elettrici, manifestandosi l'elettricità positiva in un estremo del cristallo, la negativa nell'estremo opposto. Quindi i due elettrizzamenti consistono in una specie di polarità contratta che s'inverte passando dal riscaldamento al raffreddamento: quindi operando con due tormaline possono produrre fenomeni di attrazione e repulsione, analoghi a quelli di due aghi calamitati. Nè è la tormalina il solo fossile cristallizzato che possiede questa singolare proprietà, essendosi posteriormente conosciuto, che la *baracite*, il *mesotipo*, il *topazio*, lo *zucchero* ec. si elettrizzano anch'essi per l'azione del calore.

1417. Poco intanto può dirsi di ben preciso intorno a questo argomento. È facile il congetturare come ad un turbamento che avvenga nell'equilibrio delle forze molecolari, possano e debbano anzi squilibrarsi pure gli imponderabili che stanziano nello stato latente nelle masse dei corpi, e che indubitabilmente intervengono nell'esercizio di quelle forze medesime; ma lo stato attuale della scienza non permette ancora di definire in che consistano siffatti squilibrii, ignorandosi tuttavia le relazioni che passano tra la materia ponderabile e l'im-

ponderabile. L' elettrizzarsi dei cristalli va senza dubbio connesso all'allontanamento delle molecole similari, e però all' elettrico che acquistano le lamine dei cristalli nello sfogliarsi: e non è straniero un tal fenomeno alla luce che nella cristallizzazione si manifesta, nè al calore che si sviluppa in certe mutazioni o metamorfosi, che per allotropia e dimorfismo subiscono certi corpi (§. 90 e seg.) ; nè infine ai cangiamenti di calore specifico che le accompagnano.

1418. Abbenchè VOLTA avesse osservato che bastava variar la temperatura di un metallo per svolgervi e promouervi l' elettricità , e tale da irritare gli organi delle rane (1); pure SCHWEIGER è stato il primo a dimostrare di essere la varia azione del calorico una potenza elettromotrice, costruendo all'uopo un' apparato cui diede il nome di *pila a fuoco*. Egli la compose di 14 vasettini di rame ripieni di acqua acidolata con acido solforico, sostenuti da piccoli tripodi di rame, ed uniti alternativamente tra essi con strisce di carta inzuppata d' acqua salata e con fili di rame. Disposto così l'apparato non produceva alcun effetto ; ma riscaldandosi con fiamma d'alcool tutti i vasi di numero impari, e serbandosi freddi quelli di numero pari, l'acqua si decomponeva, il rame si ossidava, si aveano in somma i fenomeni dell'elettrizzazione (2).

1419. Risultati alquanto più precisi si ottennero nel 1811 da BESSAIGNES, e quindi da BECQUEREL, i quali

(1) VOLTA *Opere* , tom. 2. part. 1.

(2) *Ann. de Chim. et de Phys.* tom. 3 p. 418 — *Journ. de Phys.* tom. 23 p. 157.

confermarono il fatto, che lo sbilancio della temperatura sviluppa la corrente, e produce i così detti *fenomeni termo-elettrici*.

1420. Devcsi però a SEEBECK l'importante scoperta delle correnti elettriche nei circuiti metallici, svolte per uno squilibrio di temperatura. Si congiungano all'uopo ai fili del galvanometro gli estremi di un filo di platino o d'altro metallo: se questo filo è molto lungo, e tenendolo disteso, se ne riscalda il mezzo colla lampada a spirito di vino, non si hanno segni elettrici; ma se la parte riscaldata è vicina ad uno dei nodi che lo congiungono al filo di rame del galvanometro, questo devia immediatamente, e dimostra una corrente diretta dal platino al rame. Per eccitare una corrente basta non lasciar disteso il filo ed aggrupparlo in un punto qualunque, perchè scaldandolo in vicinanza di questo si abbia una corrente diretta dal filo riscaldato al nodo.

1421. In generale accostando un filo caldo ad uno freddo dello stesso metallo, la corrente va dal primo al secondo, cioè nel senso in cui si propaga il calore. Lo bismuto presenta un fenomeno inverso, ed il ferro, lo zinco, ed il rame, danno luogo ad anomalie, che dipendono dal loro ossidamento, e pel ferro dalla diversa temperatura eziandio.

1422. Gli esperimenti del dottor SEEBECK provano che l'azione termo-elettrica è più potente quando si usano metalli eterogenei. Avendo egli infatti connessi insieme e saldati dei metalli dissimili in modo da formare dei circuiti solidi perfettamente chiusi, vi promosse le correnti elettriche inducendovi delle ineguali temperature. Il circuito termo-elettrico all'uopo impiegato dall'autore

nel 1824, costa di un cilindro *a* (Tav. 18 fig. 6) di bismuto o di antimonio, ai di cui estremi è saldata una lamina di rame *b c d*. Si è costruito anche questo apparato in un'altro modo. Con delle sbarre o laminette di antimonio e di bismuto della lunghezza di circa 12 centimetri alternativamente saldate insieme si è formato un poligono od un rettangolo (Tav. 18 fig. 7), i di cui lati opposti *ac*, *bd* sono di bismuto, ed *ab*, *cd* di antimonio; oppure un rettangolo con otto verghe, quattro di antimonio *a*, *a*, *a*, *a* (Tav. 18 fig. 8), ed altrettante di bismuto *b*, *b*, *b*, *b*, tra esse alternate. Può formarsi anche un circuito con una lamina di rame ed un'altra di zinco, o con una di rame e l'altra di antimonio, ripiegate ed insieme saldate. Si situano questi circuiti sopra sostegni in un piano orizzontale, e se ne turba l'equilibrio di temperatura scaldandosi le saldature, o raffreddandosene alcune col ghiaccio, oppure riscaldandosene alcune e raffreddandosene altre: così basta che le saldature di un circuito formato di due metalli abbiano una diversa temperatura, perchè si abbia in esso una corrente elettrica (1). Si è trovato, che nella serie dei seguenti metalli,

(1) Si conosce la presenza della corrente così eccitata, e se ne misura l'intensità colla deviazione dell'ago magnetico. Si sospendono all'uopo i rettangoli orizzontalmente, ed in modo che ad uno de' loro lati sia posto sopra o sotto un ago da bussola coincidente colla direzione di questo, ossia col meridiano magnetico. Riscaldandosi una delle saldature, o soprapponendovisi un pezzo di neve, ed anche aspergendovisi l'acqua potabile, si osserva in tutti i casi deviar l'ago notabilmente dalla direzione del suo meridiano. Questi fenomeni risultano più precisi sostituendosi agli aghi semplici gli *aghi astatici*.

bismuto, platino, piombo, stagno, rame, oro, argento, zinco, ferro, antimonio, la corrente traversa la saldatura più calda passando da un qualunque dei metalli che vi sono compresi a quelli che gli vengono dopo.

1423. Conosciutosi il fatto generale, che un disquilibrio di temperatura in un circuito metallico accompagnato da una ineguale o non simmetrica propagazione di calorico, come quella che si verifica alla superficie di congiungimento di due metalli, dà luogo alla produzione di una corrente, fu facile il concetto di una *pila termo-elettrica*. FOURIER ed OERSTED furono i primi a costruirla. Componesi essa di molti piccoli parallelepipedi di bismuto ed antimonio, saldati alternativamente insieme in modo da formare un fascio prismatico o circolare del quale si possono immergere nel ghiaccio tutte le saldature di numero dispari, mentre si riscaldano tutte quelle di numero pari, o viceversa. Il *termo-moltiplicatore* immaginato dall' illustre Prof. Cav. NOBILI non è che una pila termo-elettrica congiunta col galvanometro. Una scatola AB (Tav. 19 fig. 15) contiene la pila composta di vari elementi di antimonio e di bismuto, disposti come *ab*, che ne indica la proiezione su di un piano. Questo fascio di coppie si ferma con mastice entro l'astuccio, in modo però che le saldature sporgano all'infuori. Una influenza calorifica qualunque che venga ad agire sopra una delle sue facce, ossia sulla metà delle saldature che vi corrisponde, eccita nella pila una corrente elettrica, che passando per i due perni r, z , a cui sono annessi i fili di un galvanometro, agisce su di esso deviando dalla sua posizione l'ago; ed in preferenza dei più delicati termometri indica le più

deboli variazioni di temperatura. Destinandosi poi questo apparato a sperimentare gli effetti del calorico raggianti, soglionsi saldare le verghe metalliche ad angolo acutissimo, e si annerano gli estremi degli elementi sporgenti dal mastice per renderli più atti all'assorbimento del calorico. Si aggiunge ancora all'astuccio *a b* (Tav. 20 fig. 2), che racchiude la pila, un cono *c* di metallo lucido che fa le veci di specchio riflettente pel riconcentramento dei raggi calorifici. È tale la squisitezza di questo apparato che si risente anche al calor naturale di un uomo 28 in 30 piedi distante; e secondo il prelodato Prof. NOBILI ad $\frac{1}{6000}$ di grado di R.; e si è impiegato dal benemerito Prof. Cav. MELLONI nelle sue delicate ricerche sul calorico raggianti (§. 813 e seg.).

1424. La pila termo-elettrica, che non peranco dava scintille, cedè in aprile 1836 alle cure del Comm. ANTINORI di Firenze, ed indi a quelle del P. LINARI. Professore dell'Università di Siena(1). Essendo questa corrente sempre pochissimo atta a traversare i liquidi, è poco idonea a scomporsi; e non fu che con una pila di 420 elementi di ferro e platino, che il Prof. di Torino

(1) Istituiti dal P. LINARI gli esperimenti coll'apparato termo-elettrico di 25 elementi di NOBILI, costante di spirali elettro-dinamico, lunghe 154 metri, e di magnete temporaria, n'ebbe scintille visibili anche al chiaror del giorno. Così pure ottenne la decomposizione dell'acqua e del nitrato d'argento, mettendo quest'ultimo tra due laminette di oro comunicanti coi poli dell'apparecchio. Riuscì infine a magnetizzare gli aghi di acciaio circondati da eliche metalliche, ed a far palpitare il mercurio. *Appendice al supplemento dell'Indicatore Sanese*, n. 50, 13 Dicembre 1836. Anno 4.

Cav. BOTTO potè nel 1833 operare la decomposizione dell' acqua ; effetto che poi ottenne con una pila di bismuto ed antimonio. Colla pila di WON-ETTINGSHAUSEN si posson ora riprodurre tutti gli effetti della termo-elettricità.

1425. La debole forza decomponente della elettricità termica suolsi attribuire alla conduttricità della pila, e alla facilità con cui l'elettrico si rimette nello stato naturale appena eccitato: « ma in realtà, quivi, come nella » pila voltaica l' elettrico che il galvanometro non accusa non può dirsi svolto, finchè non si assegni un effetto che lo rappresenti » (1).

1426. I fenomeni piro-elettrici toccano le più astruse dottrine della fisica molecolare. Congiunti questi fenomeni a quelli del calore svolto dalla elettrica corrente (§. 1361) sembrano condurre a considerare le molecole integranti dei corpi come rivestite di due principii elettrici, ossia di opposti stati elettrici, che nell'aggruppamento delle medesime si neutralizza, e si rende latente. Turbato questo stato di aggregazione, lo è del pari l'elettricità; e da ciò il trasformarsi di un cristallo in una specie di pila isolata quando si riscalda o raffredda (§§. 1416-17); indi l'apparizione dell' elettrica corrente in una massa conduttrice formante circuito. La differenza dei due fenomeni, e dei due stati elettrici non è che accidentale: COLLADON infatti ha dimostrato potersi la elettricità statica convenientemente raccolta e diretta ridurre a corrente.

(1) BOTTO. *Elementi di Fisica Generale e Sperimentale* ec. Torino 1843.

CAPITOLO V.

DEI PESCI ELETTRICI.

1427. I fenomeni procurati cogli apparati elettromotori sinora descritti possono anche prodursi dall'organica struttura di alcuni animali. Sonovi infatti de' pesci capaci di scuotere in modo da intormentire ed istupidire la mano ed il braccio di chi li tocchi. I più comuni sono le Torpedini (*Raja torpedo* di LINNEO) frequenti sulle coste marittime d'Italia ed in altri mari di Europa (1); il *Silurus electricus*, il *Tetraodon electricus*, ed il *Gymnotus electricus*, noto sotto il nome di *anguilla del Surinam*. Tutti questi pesci elettrici hanno di comune la pelle levigata, molle, ed aspersa di un muco viscoso molto più conduttore dell' acqua (2).

1428. Il giunoto, il più possente fratutti, è una grossa anguilla, da cinque a sei piedi lunga, che vive ab-

(1) Della Torpedine, comunemente detta *tremolo* o *torpiglia*, cinque specie vivono nel Mediterraneo, cioè la *Turpedo narke*, descritta da RISSO, e denominata dai romani *occhietta*, perchè fregiata di cinque macchio rotonde; la *Turpedo unimaculata*, la di cui forza elettrica è debolissima; la *Turpedo Galvanii*, che prevale in tal forza a tutte le altre; la *Turpedo marmorata*, che al pari della precedente vive anche nell' Adriatico; e la *Turpedo Nobiliana*. Molte altre specie di questo genere non vivono che nei mari equatoriali.

(2) *Relazione ragionata su i fatti e le cognizioni più vere o interessanti che si possedevano intorno alla singolare virtù dei Pesci Elettrici prima della scoperta del Galvanismo e della pila voltiana* del Prof. SILVESTRO GHERARDI Bologna 1838.

bondantemente nelle calde acque dei fiumi dell'America Meridionale, e soprattutto dell'Orenoce e de'suoi affluenti. DE HUMBOLDT e BONPLAND hanno consegnato nella relazione dei loro viaggi la descrizione delle proprietà di questo singolare animale (1); che noi abbiamo avuto la felice opportunità di verificare nel Ginnoto che la Maestà del RE (N. S.) nel 1844 ebbe in dono dal Brasile, e che si compiacque di affidare alle nostre cure (2). Toccandosi questo pesce, anche in un punto, colle mani, o con verghe metalliche, od altro corpo solido deferente, si ha una scossa, la quale superando talvolta quella della più forte pila, ne fa per qualche tempo risentire gli effetti. Rinnovate spesso, si rendono tali scosse ben penose. Son desse più forti quando si tocca l'animale con ambe le mani in due punti del suo corpo, nel qual caso si avvertono nelle braccia e nel petto, formando questi organi un arco scaricatore; altrimenti si avvertono più deboli, e nel solo braccio con cui è tocco l'animale, seguendo la scarica tra gli organi, il suo lo, e l'acqua in cui esso nuota. Son queste scosse anco-

(1) *Observations sur l'Anguille électrique du nouveau continent — Recueil d'Observations de Zoologie et d'Anatomie comparée etc.* par AL. DE HUMBOLDT et A. BONPLAND, Paris 1811. Vol. 1 p. 49.

(2) Tutti gli esperimenti istituiti sul Ginnoto furono dettagliatamente esposti in una Memoria da noi pubblicata col titolo *Esperimenti istituiti sul Ginnoto Elettrico* Napoli 1845, e letta nella Sezione di Fisica e Matematica del VII Congresso Scientifico tenutosi in questa Capitale. ZANTEDESCHI *Raccolta Fisico-Chimica Italiana* ee. Venezia 1846 vol. 1 pag. 53 — MAJOCCHI *Annali di Fisica, Chimica, e Matematica* ee. Milano 1845 vol. XX pag. 225.

ra tanto più incommode quanto è maggiore l'estensione della parte del corpo umano con cui si tocca l'anguilla; quanto più è questa riposata, nutrita, inquieta, stizzita e vigorosa, e quanto più energico n'è il cervello. Può la scossa, come quella della bottiglia, riceversi da una serie di persone, di cui le estreme tocchino contemporaneamente l'anguilla. È la scossa per l'animale un'arma difensiva; la dà a volontà, e più o meno forte; può darne molte di seguito, ma le successive sono sempre più deboli, onde ha bisogno di un dato tempo per rinfrancarsi delle forze perdute. Secondo WILLIAMSON e FHALBERGH uccide con questo mezzo da lontano i pesci di cui vuole cibarsi; fatto da noi più volte verificato. Il celebre DE HUMBOLDT attraversando una piccola riviera fu obbligato di cangiar direzione, perchè i ginnoti in quel luogo spessissimo ammazzavano molti muli: non già che questa scarica sia capace di ammazzare un mulo, ma può benissimo travolgerlo ed affogarlo.

1429. Trasportato il ginnoto in una piccola vasca, e riscaldandone a gradi l'acqua sino al 28° centesimale, diede scariche tanto più forti e frequenti, quanto più cresceva la temperatura del mezzo in cui vivea. Ci convinchemmo allora della veracità delle relazioni de' viaggiatori sul sommo vigore de' fenomeni a questo pesce nel suo clima attribuiti, comparativamente a quelli che presso di noi vi si osservano. Lungi però dal ripetere con BECQUEREL l'azione calorifica sulla scarica elettro-animale da una analogia coi fenomeni della fosforescenza, più probabile sembra l'opinione del Prof. MATTEUCCI, che la maggiore attività cioè della respirazione e della circolazione dell'animale, che vive nell'acqua cal-

da, influisca direttamente sul sistema nervoso e sulla stessa funzione elettrica.

1430. WALSH, INGENHOUS, e FAHLBERG ottennero la prima volta la scintilla elettrica dal ginnoto, interrompendo la catena conduttrice con due piccole foglie d'oro riposte su di un vetro in modo da lasciare l'interruzione di una linea. Ma noi l'ottenemmo in modo ben più brillante e deciso. L'apparecchio all'uopo impiegato fu un piccolo tubo di vetro ricurvo a forma di U, e pieno di mercurio nella sua curvatura. Fissato con sovero ad ogni suo braccio un lungo reoforo di rame rivestito di seta, e discendente fin presso la superficie del mercurio, vi si lasciò l'intervallo di qualche frazione di linea. Gli estremi opposti erano congiunti a due manubrii con impugnature di legno, e muniti di spugne. Stimolando il ginnoto con queste sul dorso e sull'addome, in corrispondenza dell'organo elettrico, operando al buio, ed agitando lievemente il mercurio; vi brillò sulla superficie la luce elettrica. Introdotta poi in questo circuito la spirale moltiplicatrice di HENRY, più grandi e più luminose risultarono le scintille elettriche.

1431. Frapponendo nel filo interpolare una spirale con entro un ago di acciaio non magnetico, dopo alquante scariche lo si trovò magnetizzato. Decomposto da SCHOENBEIN e da FARADAY il ioduro potassico colla corrente ictio-elettrica del ginnoto, da noi si ottenne non solo la scomposizione del cennato composto, ma l'altra benanche del nitrato argentario, e dell'acetato piombico; e trasmessa convenevolmente la corrente nell'apposito apparato, si deposero sulla lamina di platino gli anelli concentrici colorati del NOBILI (§.4387). Messo poi d'in-

nanzi al termo-moltiplicatore un sottilissimo filo di argento congiunto per gli estremi coi due fili di conduzione, il calore prodotto dal passaggio della corrente se non fu tanto intenso da arroventare il piccol filo metallico, lo riscaldò però in modo da render pronte le deviazioni dell'ago (1).

4432. Osservando le galvanometriche deviazioni, le quali erano così intense da inutilizzare spesso l'ago del moltiplicatore, avemmo l'occasione di verificare un fatto dapprima osservato dal Prof. ZANTEDESCHI sulla Torpedine, che non era, cioè, necessario di porre gli scandagli in contatto colle parti dell'animale; ma che bastava immergerli nell'acqua, anche a qualche pollice di distanza dal ginnoto, per osservare nel momento della scarica, sensibilissima deviazione. Si ebbe pur questa a circolo chiuso, applicando le mani al dorso ed al ventre dell'animale. Era questo un effetto della somma effusione dell'elettrico. La rana infatti preparata contraevasi fortemente in presenza dell'animale quando si scaricava, in gran massa d'acqua, ed a notabile distanza.

4433. Le galvanometriche deviazioni e le chimiche azioni ci permisero di confermare una legge scoperta da BRESCHET e da BECQUEREL, e ammessa da MATTEUCCI: che tutti i punti, cioè, della parte dorsale dell'organo sono positivi relativamente a quelli della parte addominale. Un'altro fatto verificammo egualmente, scoperto da FARADAY e da SCHOENBEIN mercè gli esperi-

(1) Mettendo in comunicazione il dorso e l'addome del Ginnoto colla macchina di CALLAN per mezzo di due reofori di rame, provammo per la indotta corrente sensibilissime scosse.

menti istituiti sul ginnoto trasportato a Londra nel 1839, d'esser, cioè, la testa o la parte anteriore positiva rispetto alla coda o parte posteriore. In unione finalmente del benemerito nostro collega Prof. PRUDENTE contestammo sul Ginnoto un fatto precedentemente da noi osservato sulle Torpedini, di trasmettersi cioè le correnti elettriche in direzione delle fibre muscolari (1).

4434. Istituite da WALSH le prime ricerche sugli effetti delle Torpedini per determinarne la natura elettrica, molte altre se ne sono di poi praticate da SPALLANZANI, GALVANI, ALDINI, DE HUMBOLDT, CONFGLIACCHI, fratelli DAVY ed altri. Le più pregevoli però sono le recenti dei Professori BARLOCCI, MATTEUCCI, e LINARI, i di cui principali risultati sono i seguenti. Se la torpedine è nell'aria si avverte immediatamente la scossa irritandola con ambe le mani sul dorso e sul ventre, e toccandola talora con una mano soltanto. Essendosi però provato da WALSH con decisive sperienze, che le due facce opposte del corpo della torpedine sono nell'atto della scarica i poli di opposto stato elettrico, ne segue che la più forte scossa deve avvertirsi quando si stabilisce un arco di comunicazione fra il dorso e il ventre. S'impedisce la scossa coi corpi isolanti, come vetri e resine, e coi semiconduttori, come fazzoletti ascintti di lino o di canape. Si riceve al contrario la scossa toccandola con una verga di metallo. Tenendosi più persone per le mani inumidite, se la prima soltanto tocca la torpedine, si comunica la

(1) ZANTEDESCHI, *Raccolta Fisico-Chimica Italiana*, Venezia 1846 Vol. 1 p. 215.

scossa alle altre con intensità decrescente. Si avverte anche dall'intero circolo di venti persone, tenendosi per le mani, se la prima tocca il pesce sotto il ventre e l'ultima sul dorso. Paragona MATTEUCCI la scossa della torpedine a quella di una pila di 100 a 150 coppie, caricata coll'acqua salata; LINARI per mezzo della bilancia magneto-elettrica vide che la scarica di una torpedine di mediocre grandezza eguaglia quella di una batteria della superficie armata di 94 pollici quadrati; ed avendola noi paragonata a quella del ginnoto, abbiamo costantemente ritrovato questa incomparabilmente più intensa. Secondo WALSH la torpedine nell'acqua fulmina talora a distanza i pesciolini, od almeno gli storisce. I pescatori sono perciò avvertiti della presenza delle torpedini nelle reti, dalle scosse che ricevono nel raccoglierne la pesca; e qualora vi gittano sopra secchi d'acqua per lavarla, e lo getto è continuo, la scossa è risentita specialmente nelle braccia. Sono queste scosse volontarie, non comunicandole l'animale che quando vuol servirsi dell'arma sua. Toccandolo perciò semplicemente non si avverte alcuna scossa; ma pungendone le pinne, od irritandolo altrimenti, se ne ricevono più colpi. Se ne sono numerati sino a 50 in un minuto, ma d'intensità decrescente. Scemano ancora queste scosse scemando la vitalità della torpedine. Quando è per lanciare il colpo, si scorge ne' suoi ocelli e nelle pinne pettorali un particolar movimento, ed ov'è l'organo elettrico una compressione. Ponendo GALVANI le rane preparate sul corpo della torpedine collocata su di un panno bagnato, provavano delle forti e continue contrazioni non solo quando questa si scaricava, ma anche quando non ne

dava alcun segno. Mettendo in contatto del dorso e del ventre dell' animale i due fili di un galvanometro, nell'atto della scarica l'ago dello strumento bruscamente devia. Per mezzo di questo apparato si è conosciuto che la corrente è diretta nel galvanometro dal dorso al ventre del pesce, e che quindi quello è **positivamente**, e questo **negativamente** elettrizzato.

1435. Il Padre LINARI Professore di Fisica nell'Università di Siena fu il primo ad ottenere la scintilla elettrica la più distinta dalle torpedini, impiegando all'uopo un apparato simile a quello di cui noi profitammo per avere la scintilla dal ginnoto (§. 1430) (1). MARTEUCI ottenne la scintilla collocando la torpedine fra due scudi di metallo isolati, e munito ciascuno di essi di un filo anche di metallo portante all'estremo superiore una fogliolina d'oro (Tav. 24. fig. 10). Comprimeudo lo scudo superiore, vide brillare la scintilla fra le due foglioline metalliche, le quali eran perciò fra di loro vicinissime. DAVY per mezzo dell'elettrometro di HARRIS scoprì il potere calorifico delle correnti ictio-elettriche, e LINARI lo confermò avvalendosi del termometro metallico di BREGUET. DAVY fu il primo ad avvertirsi che l'elettricità circolante di questo pesce è sensibilissima al gal-

(1) Proseguendo LINARI i suoi esperimenti sulle torpedini, ed impiegando all'uopo un sistema composto di due eliche o di tre quadrati moltiplicatori ad essi concentrici, ottenne colla scintilla altri fenomeni d'induzione elettrica. Si consulti in proposito la sua Memoria intitolata *Scintilla ed altri fenomeni d'elettriche correnti, ottenuti per azione induttiva dell'elettriche scariche del pesce torpedine* ec. inserita nel *Giornale Scientifico Letterario di Perugia* 1839.

vanometro; e CONFIGLIACCHI nel 1827 annunziò di aver egli ottenuto la magnetizzazione degli aghi di acciaio colle correnti della torpedine. Avendo DAVY fatto passare l'elettricità dell'animale con fili di argento attraverso di varie soluzioni acide e saline, come acetati, nitrati, iodido di potassio, ne ottenne la decomposizione. BARLOCCI sperimentandone l'azione sull'acetato di piombo ebbe la rivivificazione del metallo, che aderì ad uno dei due elettrodi di platino. MATTEUCCI ne ha ottenuto la decomposizione dell'acqua e del ioduro di potassio; e LINANI finalmente per mezzo di queste correnti ha prodotto sulle lamine metalliche gli anelli colorati simili a quelli avuti dal Cav. NOBILI colle correnti della pila.

4436. Gli organi elettrici variano in numero e posizione nei diversi pesci. La Torpedine ne ha due collocati ai due lati della testa, e che REDÌ chiamò *corpi falcati*: il Ginnoto ne ha quattro due grandi e due piccioli; i primi siti al di sotto della vescica natatoria e dei muscoli vertebrali, ed i secondi all'infima regione della coda: il Siluro ne ha uno posto immediatamente sotto la pelle, e che si distende tutto all'intorno del corpo.

4437. Molti insigni naturalisti anatomici, come HUNTER, BLAINVILLE, CUVIER, BLUMENBACH, e KNOX han descritto l'organo elettrico dell'anguilla del Surinam; e pregevoli sono le osservazioni istituite da GEOFFROY S. HILAIRE, JACOBI, CARUS, SAVI, CALAMAI (1), e specialmente dall' illustre nostro collega Prof. DELLE CHIAJE (2) su quello della torpedine. Si compone ciascun ap-

(1) *Sull'anatomia della Torpedine* ec. Napoli 1845.

(2) *Atti del R. Istit. d'Incoraggiamento di Napoli*, Vol. VI.

parato elettrico di una congerie di numerosissime colonne o pile bianche e flessibili, di forma esagona, ordinatamente disposte e ben fitte, talehè per questa disposizione prende tutto l'organo l'apparenza di un favo. Ciascun prisma poi è costruito da tante vescichette globose a valide pareti, incastrate le une sulle altre, da su in giù reciprocamente compresse, e ripiene di una sostanza mucoso-gelatinosa o albuminosa, composta cioè di $\frac{2}{10}$ d'acqua, di $\frac{1}{10}$ d'albumina, e di poco cloruro sodico. Son queste vescichette provviste di arterie e di nervee diramazioni, le quali anastomizzandosi colle diramazioni di altre fibre un reticolo formano a maglie esagone, di cui ciascun otricolo è provveduto; ed una tela aponeurotica molto forte, formata di fibre intrecciate, ricopre affatto l'intero apparato. Tenendo dietro finalmente ai filamenti nervosi che si riuniscono fra prisma e prisma, ed in grossi rami nell'attraversare le branchie ed il cranio, si giunge alle grandi diramazioni del quinto e dell'ottavo paio.

1438. Dietro gli esperimenti istituiti da CAVENDISH, e le sagaci ricerche all'uopo da esso praticate sin dal 1776 sul potere elettrico dei cennati pesci, non ne somigliò VOLTA l'organo elettrico alla boccia di Leida, ma ad un apparato elettro-motore, riguardandolo come una congerie di colonnette galvaniche cestituite da liquidi di diversa densità, che a volontà dell'animale atte si rendono alla circolazione delle correnti elettriche quando stringendo esse gli organi tra il dorso ed il ventre mette in comunicazione i poli di tali colonne. Dopo però di aver egli imitato questo congegno mettendo sott'acqua due pile tra esse vicine e disposte in

modo da formarne una ; e di avere aperto, abbassando su di esse un filo conduttore, un passaggio alla elettrica corrente (1) ; un apparato compose all' uopo elettro-motore , simile forse ai pesci elettrici, con una pila , il di cui liquido era un cattivo conduttore , come mele o sciroppo molto concentrato. Fu questa opinione parteggiata dai celebri LACEPÈDE, GEOFFROY S. HILAIRE, DE HUMBOLDT, PFAFF, BUNTZEN, KAENTZ, essendovi sviluppo di elettricità pel contatto di sostanze animali dissimili , e per quello di due liquidi dissimili in composizione o densità separati da una membrana.

1439. Essendosi da GALVANI sperimentato che tolto il cuore ad una torpedine , proseguiva essa a scuotere, ma non così se le si tagliava il cervello ; e che troncata la comunicazione tra gli organi elettrici ed il cervello per via de' nervi , l' animale perdeva ogni facoltà scuotente, il cervello riguardò qual fonte immediato elaboratore dell' elettrico, e gli organi elettrici come gli accumulatori di esso. HUNTER, WOLLASTON, ABERNETHY, WILSON , PHILIP, PREVOST, LINARI, MATTEUCCI, PIANCIANI, ZANTEDESCHI, avendo saputo apprezzare la dottrina elettro-fisiologica dell' illustre fisico di Bologna , han cercato di vieppiù costatarla con svariati e decisivi esperimenti. ZANTEDESCHI infatti avendo compito il circolo reometrico con applicare un lancettone al ventre , e premer coll'altro la midolla spinale, non ebbe alcuna scarica elettrica ; effetto che ottenne ferendo la midolla spinale. All' uopo egli avverte che per aversi scarica

(1) *Sull' identità del fluido elettrico col così detto galvanico, Pavia 1814.*

sensibile , la midolla spinale comnnicar deve colla midolla allungata. Premendo il primo , il secondo , ed il terzo lobo , non ebbe alcuna scarica ; mentre fercendoli sino al punto d' irritare i nervi della sottoposta midolla allungata o de' suoi prolungamenti , ebbe luogo la scarica : e premendo finalmente le fogliette restiformi e la quarta massa cerebrale, pronte e forte scariche egli ebbe. MATTEUCCI ha pur verificato che irritando i primi lobi del cervello (lobi olfattorii), non che gli ottici ed il cervelletto , non vi è scarica ; che anzi queste tre prime protuberanze del cervello possono togliersi senza che la torpedine la facoltà perda di scuotere. Non così del quarto lobo, ch' egli chiama *lobo elettrico*. Appena infatti è questo tocco , che produconsi le scariche , e secondocchè se ne tocca la sinistra o destra parte , il sinistro o destro organo dà la scarica. Tolto infine questo quarto lobo , gli altri restando, del tutto manca l' elettrica funzione.

1440. Provata l' elettrica potenza come dipendenza delle fogliette restiformi della quarta massa cerebrale colla sottoposta midolla allungata , e de' loro nervi cogli organi detti comnemente *elettrici*; a conoscersi resta in quali di tali parti l' elettrico si sviluppi. Ne ripone MATTEUCCI la facoltà nell' organo così detto *elettrico*. Da un suo particolare esperimento assicurato , che nella contrazione muscolare vi è sviluppo d' elettricità ; e che svolta questa in maggior quantità , non potendosi più scaricare per le parti interne del muscolo , circola in parte per la superficie , emette all' uopo la seguente opinione. » Ogni volta che l' irritazione » nervosa giunge ad ognuna delle vescichette elemen-

» tari dell' organo della torpedine, le due elettricità s'
 » separano. Il calore, che agisce sulla tormalina, so-
 » pra di alcuni metalli cristallizzati, separa le due
 » elettricità; l' azione chimica fa altrettanto: le azioni
 » meccaniche, confrazione, pressione, agiscono u-
 » gualmente; sia così dell' irritazione nervosa nella ve-
 » scichetta dell' organo elettrico. L' identità di struttu-
 » ra e di disposizione d' ogni vescichetta farà che ognu-
 » no dei prismi divenga, pel solo istante piccolissimo
 » della durata dell' irritazione, una pila; e sarà quindi
 » l' organo un apparecchio moltiplicatore, che durerà
 » ad esser carico un solo istante, essendo in mezzo a
 » corpi conduttori. La scarica si farà e al di fuori, nel
 » mezzo circostante, ed in parte anche nell' interno
 » dell' organo; e tanto più fuori, quanto più questo è
 » miglior conduttore dell' interno dell' organo » (1).

1441. GALVANI all' opposto e LINARI ripongono nel cervello la potenza di sviluppar l' elettrico. « La forza
 » nervosa, essi dicono, può trasformarsi in elettricità;
 » od almeno può l' una l' altra eccitare mediante partico-
 » lare organizzazione ». Secondo poi ZANTEDESCHI » lo
 » sviluppo dell' elettricità è dalla volontà dell' animale
 » indipendente, è un effetto del chimismo vitale, non
 » sempre la scarica avvenendo quando vuole l' animale.
 » Sviluppo dunque elettrico e direzione della scarica
 » dipendenti sono dall' organismo, e solo la scarica è
 » sotto l' influenza della volontà. La quarta massa ce-
 » rebrale poi è l' organo secernente l' elettrico e deter-
 » minante la scarica; e gli organi detti elettrici non ne

(1) *Lezioni di Fisica*, seconda edizione, Pisa 1844 p. 319.

» sono che gli accumulatori. Sotto l' influsso dell' irri-
 » tazione gli organi elettrici diminuiscono di mole ; da
 » convessi divengono concavi; scemano di capacità per
 » la carica , e l' elettrico si stabilisce in correnti , che
 » in parte circolano nell' animale, ed in parte si diffon-
 » dono nell' acqua ambiente ; per cui parmi che abbia
 » luogo una corrente di derivazione ed una d' induzione,
 » come pensò il Professore PIANCIANI » (1).

1442. » È indubitato , dice questo illustre Fisico ,
 » che la volontà produce de' movimenti nel corpo , e
 » che gli animali muovono a piacere questi o quei mu-
 » scoli col mezzo dei nervi comunicanti col cervello.
 » Com' esser ciò possa, Chi ha così ordinato, Ei lo sa.
 » Per noi non è , io credo , in tutta la creazione cosa
 » più misteriosa della scambievole azione fra il princi-
 » pio immateriale e la materia. Ma le contrazioni mu-
 » scolari prodotte dalla volontà anche meno s' intendo-
 » no , se , escludendo l' elettrico , si fa operare la vo-
 » lontà unicamente sul sistema nerveo; o se all' elettri-
 » co così conosciuto ne' suoi effetti sostituiscasi un' al-
 » tro principio al tutto ipotetico. L' integrità de' nervi
 » e la loro comunicazione col cervello è condizione ne-
 » cessaria non meno che ai movimenti volontari , alle
 » funzioni digestive ed alle varie secrezioni. Sembra
 » perciò che dal cervello per mezzo de' nervi qualche
 » cosa discenda ad irrigare i varii organi animali ; ma
 » questa qualche cosa che altro può credersi ragione-
 » volmente , se non si crede probabile con parecchi

(1) *Trattato del magnetismo e dell' elettricità.* Venezia 1844.
 tom. 2. p. 334.

» moderni scienziati che l'elettrico , o non altro sia il
 » così detto sugo o fluido-nerveo , o ciò di che molti
 » hanno a lungo parlato sotto il nome di *spiriti anima-*
 » *li* ? . . . Il cervello dei pesci elettrici non differisce
 » essenzialmente da quello degli altri pesci ; nè il cer-
 » vello degli animali di questa classe da quello degli
 » animali di classe diversa; non v'è dunque ragione di
 » credere che anche il cervello degli altri animali non
 » faccia anch'esso scorrere pei nervi l'elettricità , co-
 » munque poi questa venga eccitata : poichè quà non
 » si tratta di generare o di elaborare l'elettrico , ma
 » soltanto di destarlo , o di romperne l'equilibrio ,
 » come si fa in tanti modi nelle nostre esperienze» (1).

1443. BANCROST, e VANDER LOTT, Chirurgo in As-
 sequebo, assicurano di profittarsi in America dell'azio-
 ne elettrica de' pesci per la guarigione di molti mali, e
 specialmente della paralisia; come anticamente s'impie-
 gava la torpedine contro l'emierania ed altri mali del
 capo giusta l'attestato di GALENO (2), di DIOSCORI-
 DE (3), e specialmente di SCRIBONIO LARGO, il quale
 nel Capitolo I.^o asserisce quanto segue: *Capitis dolo-*
rem, quamvis veterem et intollerabilem protinus tollit, et
in perpetuum remediat turpedo imposita in eo loco, qui

(1) *Saggio di applicazione del principio dell' induzione elet-*
tro-dinamica coi fenomeni elettro-fisiologici, ed in particolare
a quelli delle torpedini. T. XXII della parte Fisica delle *Me-*
morie della Società Italiana delle Scienze, residente in Mo-
dena anno 1839.

(2) *De simplicibus*, L. IV.

(3) *De simplicibus*, L. III. cap. 3.

in dolore est, donec desinat dolor, et obstupescat ea pars; quod cum primum senserit, removeatur remedium; ne sensus auferatur ejus partis. Plures autem praeparandae sunt ejusdem generis torpedines, quia nonnunquam vix ad duas, tresve respondet curatio, id est torpor, quod est signum remediationis.



LIBRO DUODECIMO

DEL MAGNETISMO.

CAPITOLO I.

FENOMENI GENERALI DEL MAGNETISMO.

1444. Vi è una specie di minerale , non raro nelle cave di ferro , che si distingue per la singolare proprietà di attrarre de' metalli , e specialmente il ferro istesso. Fu questo fossile chiamato *Magnete*, dal luogo forse ove dapprima rinvennessi (*Magnesia* , città della Lidia); ma dicesi ora comunemente *Calamita*. Benchè riguardato per lungo tempo come pietra , non è pur tuttavia che un pezzo di ferro un poco ossidato , corrispondente , cioè , al *ferro ossidato magnetico* degli Orittonosti.

1445. Galleggiando sul mercurio , o pendendo da due fili flessibili e poco tra essi distanti un pezzo di calamita ed un altro di ferro , scambievolmente si attraggono. *Magnetica* dicesi questa attrazione, e dal *magnetismo* essa ripetesi. Questa forza attraente , che investe tutte le parti della calamita , è più di ogni altro sensibile in due punti distinti di ogni suo pezzo , i quali dirigendosi nella libertà del suo movimento presso a poco verso i poli del mondo , *poli* della calamita denominansi, *borcalc* o *polo nord* l'uno , ed *australc* o *polo sud* l'altro. La retta , che unisce questi due poli , dicesi *asse magnetico*.

1446. Non è difficile scoprirla il sito in un pezzo di calamita. Ravvolgendolo nella limatura di ferro, una maggior quantità se ne attacca ai poli, formandovi all'intorno dei pennacchi.

1447. Si rende più energica la calamita *armandola* come suol dirsi. Determinati i poli nel modo testè esposto, si dà al pezzo da armarsi la forma di parallelepipedo; i lati corrispondenti ai poli si coprono con due lamine, o gambe di ferro dolce a, a, a', a' (Tav. 18 fig. 12) piegate inferiormente ad angolo, che combaciando esattamente con quelle della base vi s'insinuano al di sotto con una parte o piede a', a' , alquanto più grosso e lateralmente tondeggiante; si fermano poi le gambe con due fasciature trasversali di rame r, r, r', r' . Si congiunge ai piedi per attrazione magnetica la traversa di ferro dolce AB, detta *ancora*, applicandovisi, per mezzo del gancio C, i pesi che la calamita armata può sostenere, e che depongono della sua forza.

CAPITOLO II.

DELL' ATTRAZIONE E RIPULSIONE MAGNETICA.

1448. Gli esperimenti istituiti sulle calamite provano di esser generalmente più vigorose le più grosse, di attrarre cioè queste dippiù, sostencendo pesi maggiori. Manca però un esatto rapporto tra la massa e la forza di una calamita, essendovene delle piccole di un'energia superiore a quella delle grosse. Le più omogenee intanto e le più dure sono sempre le migliori. Accre-

scendendosi inoltre gradatamente a notabili intervalli di tempo il peso pendente dal gancio dell' ancora di una calamita, si rende molto maggiore di quello che potrebbe attrarre e sostenere se gli si presentasse tutto ad un tempo.

1449. L' attrazione magnetica agisce anche a gran distanza. L' Italiano ANTONIO DELLA BELLA Professore a Coimbra, dimostrò il primo decrescere questa forza in ragion inversa del quadrato della distanza. Questa legge, benchè verificata da COULOMB mediante la bilancia di torsione con metodi simili agli usati per la misura delle attrazioni e ripulsioni elettriche (§. 1225 e seg.); pur soffre delle eccezioni per la forma irregolare delle calamite. Secondo gli esperimenti di BARLOW è la forza magnetica proporzionale alla superficie, indipendente dalla massa, e la stessa nell' aria e nel vuoto. È la calamita più vigorosa nell' inverno che nell' estate, ed agisce attraverso della carta, del vetro, dell' acqua, del legno, e de' più densi metalli, meno quelli che essa attrae, nè punto si altera dalla loro azione. L' esercizio lungi dal diminuirla non la rende che più vigorosa; restando oziosa s' illanguidisce col tempo; e cessa poi del tutto, od almeno gradatamente s' indebolisce per l' azione del fuoco, per la ruggine delle armature, per gli urti e simili.

1450. Le calamite si attraggono scambievolmente in modo speciale. Non tutte le parti però di una attraggono le tutte di un' altra; alcune anzi si repellono in vece di attrarsi. Manifestansi le forze, attrattiva e ripulsiva, specialmente ne' poli; quelli di diverso nome, od *eteronomi* si attraggono, onde diconsi *amici*; e quel-

li dello stesso nome, od *omonimi* si repellono, e d *icon-*
si *nemici*. L'intensità della ripulsione segue la legge
dell' attrazione (§. 1449).

CAPITOLO III.

DELLA MAGNETIZZAZIONE , E DELLE CALAMITE ARTIFICIALI.

1451. I raggi de' pennacchi formati dalla limatura
di ferro intorno ai poli magnetici (§. 1446) costano
di più particelle metalliche poste le une sotto le altre
ad angoli piccolissimi. Mettendo in contatto di un polo
magnetico l' estremità di una verga di ferro dolce, men-
tre questa vi si attacca capace rendesi di attrarre il fer-
ro come la calamita, talchè insinuandosi l' altro estremo
nella limatura di ferro , gli forma questa all' intorno il
solito pennacchio. Provano chiaramente questi fenome-
ni di eccitare la calamita nel ferro attratto la virtù ma-
gnetica, ossia di *magnetizzarlo*.

1452. Se le verghe messe in contatto di una calamita
invece di ferro dolce fossero di ferro combinato con al-
tre sostanze, come carbonio, fosforo, stagno ec... oppu-
re di acciaio temperato, acquisterebbero bensì la virtù
magnetica difficilmente, ma difficilmente anche la perde-
rebbero. Tutto ciò dunque che altera o modifica lo sta-
to di aggregazione delle particelle del ferro, o per chimi-
ca combinazione o per meccanica azione, ne altera an-
cora la facoltà magnetica. L'opposizione dell'acciajo al-
l'acquisto ed alla perdita della virtù magnetica , dicesi
forza coercitiva.

1453. Sottraendo una verga di ferro o di acciaio , al prolungato contatto di una calamita, si trova magnetizzata in modo opposto di questa; l'estremo, cioè, della verga avvicinato al polo australe prende il magnetismo boreale , l' altro estremo l' australe.

1454. Benchè una verga di ferro o di acciaio in contatto di una calamita, trovisi dopo qualche tempo magnetizzata; pur tuttavia non è questo che un debolissimo magnetismo, il quale non può aumentarsi senza stropicciar la verga metallica con una calamita. Si è lungo tempo usato di strisciare ad angolo retto, più volte, e sempre nello stesso senso su di un polo della calamita la verga da magnetizzarsi. Benchè stropicciata la verga dal suo di mezzo ad un estremo, pure si magnetizza non solo la metà strofinata, ma anche l'altra , quantunque in minor grado. Questo metodo detto di *semplice contatto* è poco efficace, poichè il polo australe della calamita agendo sempre sull'australe della verga per ripulsione (§. 1450) (dicasi lo stesso del boreale), distrugge col suo moto parte del prodotto effetto. Volendosi dunque delle verghe o *barre magnetiche* molto vigorose, s'impiega il *metodo di doppio contatto*. Poste all' uopo due barre magnetiche A,B (Tav. 18 fig. 43) in mezzo della barra CD da magnetizzarsi, in modo che i poli di diverso nome si corrispondano , muovinsi quelle replicatamente dal mezzo agli estremi. Non deesi retrocedere sullo stesso cammino verso il mezzo, come si pratica pure col metodo di semplice contatto , distruggendosi altrimenti il magnetismo già prodotto. Dopo un certo numero di confricazioni, trovandosi le due barre magnetizzanti in mezzo della magnetizzata, vi si sot-

traggono perpendicolarmente. Mettendosi poi la barra CD su di una sottile lastra di ferro dolce, e nella direzione del meridiano magnetico, e piegandosi su di essa le due barre A e B in modo da formare colla stessa un angolo di 15° a 20° , secondo EPINO (Tav. 48 fig. 43), si ottiene un più pronto ed energico effetto. L'estremo vicino al polo boreale della calamita acquista il polo australe, e l'altro il boreale.

1455. Comunque magnetizzate le barre, pure le loro rispettive metà presentano un diverso magnetismo, la di cui massima intensità risiede ne' poli, da quali gradatamente decrescendo si annienta nel mezzo. Avviene però talorache le verghe magnetizzate in vece di due più poli si abbiano, australi e boreali, che alternando in vari punti di una verga diminuiscono di vigore, onde questi così detti *punti conseguenti* l'azione perturbano della verga magnetica. Ciocchè è più notevole si è che quantunque le barre magnetizzate, prive di tal difetto, non abbiano che i due poli di vario nome; pure, tagliandosi, presenta ogni pezzo i due poli e diviene così una calamita; come dividendo in più pezzi una magnete naturale, ne ha ognuno i due poli, ed è una piccola calamita. Inoltre tanto la calamita quanto la verga magnetizzata non perdono di forza col magnetizzare qualunque numero di verghe; anzi aderendo la verga magnetizzata alla calamita magnetizzante, questa più energica si rende; ond'è che le armature la forza aumentano della calamita. La magnetizzazione infine, attiva o passiva, non altera il peso della calamita che dà, nè del ferro che riceve la virtù magnetica; d'onde segue che per la magnetizzazione nulla passa dalla calamita al ferro, nè da

questo a quella; e che quindi la virtù magnetica , propriamente parlando , si eccita e non si comunica.

1456. L' eccitamento intanto della virtù magnetica nelle verghe di acciajo ha un limite che non può oltrepassarsi, detto *punto di saturazione*. Le verghe intanto si magnetizzano stabilmente , perchè arrestano il magnetismo colla loro forza coereitiva (§. 1452); quando poi questa non può più trattenerne si riguarda come *satura* , e non può più oltre magnetizzarsi. Non potendosi quindi ottenere colla diretta magnetizzazione una calamita molto potente , si riuniscono in un fascetto più verghe calamitate coi poli omonomi dalla stessa parte. Questi fasci di verghe magnetizzate diconsi *magazzini magnetici*. Curvansi essi ancora a forma di ferro di cavallo (Tav. 18 fig. 14) per farli agire ad un tempo con ambi i poli a poca distanza ; ed ottenendosi così degli effetti molto maggiori , diconsi propriamente *calamite artificiali*.

1457. Si eccita stabilmente nel ferro la virtù magnetica anche senza alcuna calamita. Le percosse , la conficazione e la torsione , specialmente a determinate condizioni, valgono a magnetizzare un tal metallo. Perciò i trivelli , le lime, ed altri strumenti di ferro, che usandosi si conficano o si percuotono , trovansi spesso magnetizzati. Più di questi mezzi meccanici vale l' azione calorifica, come dapprima fu provato da HOOK ed indi confermato da ROBISON. Recenti sono gli esperimenti istituiti da BARLOW sull' efficacia de' diversi gradi d' incandescenza per comunicare la virtù magnetica. Può infine il ferro essere permanentemente magnetizzato senza l' influenza di alcuna calamita , od altro

particolare artificio. I ferri , specialmente aguzzi , per lungo tempo esposti all' aria, in direzione verticale od obliqua all' orizzonte , si trovano spesso fortemente magnetizzati.

CAPITOLO IV.

DELL' AZIONE DELLA TERRA SULLE VERGHE MAGNETIZZATE, E DELLA DECLINAZIONE ED INCLINAZIONE DELL' AGO MAGNETICO.

1458. La spontanea magnetizzazione delle barre di ferro pruova che una speciale azione della terra può eccitare in esse la virtù magnetica. Ma questa influenza del globo è più evidentemente comprovata dalla spontanea e costante direzione de' poli di una calamita, naturale od artificiale , verso i poli del mondo , quando può muoversi sul suo centro di gravità (§. 1445). Per meglio osservare questo interessante fenomeno si magnetizza una sottile laminetta di acciaio , che ha nel mezzo un cappelletto per muoversi liberamente sul vertice di un pernio acuminato. Si dà a questo apparato il nome di *ago magnetico* , ed il piano verticale , in cui esso spontaneamente si colloca , dicesi *meridiano magnetico*.

1459. Or l' ago magnetico abbandonato a se stesso sul proprio perno si dirige costantemente verso il meridiano magnetico, e benchè rimosso non tarda a ritornarvi , come farebbe influito da una vicina magnete. Non può questo effetto ripetersi che da un' azione speciale della terra sull' ago, simile a quella che su di esso

esercita una magnete. Si considera quindi la terra come una gran calamita agente sull' ago magnetico con una *forza direttrice* coincidente colla natural posizione dell' ago , ossia col meridiano magnetico.

1460. La scoperta di questa forza direttrice della terra è stata la più vantaggiosa. Benchè molte nazioni se ne disputino la gloria , il nostro FLAVIO GIOJA di Amalfi ne diede contezza all' Europa verso il decimo secondo secolo coll' invenzione della *bussola nautica*. Non è questa che un semplice ago calamitato chiuso in una cassetta , che ha incisa nel fondo la così detta rosa de' venti (Tav. 18 fig. 15). Per render minimo l' attrito si fa l' ago sottilissimo , da non divenir però pieghevole. Il cappelletto poi è di agata , od altro corpo ben duro , per non farvi penetrare il perno. COULOMB ha osservato che gli aghi fatti in forma di freccia ubbidiscono alla forza direttrice più di ogni altro di egual peso. Questo strumento indica al nocchiero la posizione in cui trovasi, specialmente se mediante le piastre di ferro di neutralizzazione proposte da BARLOW si annulli l' influenza del ferro della nave ; onde se il cielo è nuvoloso è l' ago magnetico la più sicura guida del suo cammino. Giova inoltre la bussola al Geometra per le misure geodetiche ; e serve per la costruzione degli orologi solari , e per molte altre utili ricerche.

1461. Scoperta l' azione terrestre sugli aghi magnetici , si è cercato d' indagarne l' andamento e le modificazioni. I più interessanti risultati di tali indagini sono stati i seguenti: In ogni luogo e nel tempo stesso la direzione di tutti gli aghi magnetici è identica in modo che le loro direzioni sono sempre parallele. Por-

tandosi però essi in diversi luoghi ; in alcuni coincide la loro direzione con quella del meridiano geografico , cioè del cerchio passante pel luogo e per i due poli del globo terrestre; ed in altri per lo più la loro direzione si allontana più o meno dal meridiano geografico, tendendo verso oriente od occidente. Questa deviazione , scoperta nel 1500 da SEBASTIANO CABOTA, dicesi *declinazione magnetica* , e si misura coll'angolo fatto dal meridiano magnetico col geografico , detto *angolo di declinazione*. Se fosse questa costante non costituirebbe un difetto, od almeno facile sarebbe il tenerne conto; ma varia dessa secondo i luoghi, ed i tempi, e continuamente negli stessi luoghi , senza serbare alcuna legge. Partendosi da un luogo ove la declinazione è nulla, ed avanzandosi verso il sud od il nord, può passarsi per una serie di punti , ne' quali la declinazione è anche nulla. Non sono questi punti sotto uno stesso meridiano geografico, ma formano una curva irregolare piegata or verso occidente ed or verso oriente. Alcune di queste linee , dette *bande senza declinazione* , furono dapprima segnate sul mappamondo da HALLEY , ed altre da altri viaggiatori, tra' quali l'ultimo HUMBOLDT. Queste bande intanto spesso cangiano di posizione, variando la declinazione non solo ad un tempo in varii luoghi , ma anche nello stesso luogo in varii tempi. CASSINI osservò difatti che dall'equinozio di primavera sino al solstizio di està l'ago si accosta all'est, e dopo alcuni giorni di riposo ritorna all'ovest. E dalle osservazioni fatte in Londra da GILPIN per dodici anni si rileva di scemarsi la declinazione dell'ago non solo verso est in giugno ed in ovest in settembre, ma anche in

decembre, aumentandosi un poco in marzo; e d'essere queste variazioni maggiori ne' mesi in cui il sole più si trattiene nel nostro emisfero. Ripetendo la maggior parte de' Fisici queste variazioni dalla rivoluzione del globo nell'orbita dell'eclittica, opina di poter aver esse un periodo analogo a quello delle variazioni dell'inclinazione di quest'orbita. È inoltre soggetta la declinazione ad una diurna variazione, sensibile per altro negli aghi molto lunghi e mobili, ne' quali non si scorge nelle ore del mattino che una declinazione verso l'ovest; retrocedendo essi lentamente dopo il mezzodì verso l'est: effetto, secondo CANTON, dell'azione del calor solare sul magnetismo terrestre.

1462. Un ago d'acciajo non magnetizzato, sospeso nel mezzo ad un filo, resta perfettamente orizzontale; magnetizzato però e messo nel piano del meridiano, si abbassa all'istante col polo nord verso la terra; e nell'emisfero australe si abbassa col polo sud. Questo abbassamento di un polo verso la terra dicesi *inclinazione magnetica*, e si misura colla *bussola d'inclinazione*. Non è questa che un ago magnetico *aa* (Tav. 18 fig. 16), che mediante un asse, che ne attraversa il centro di gravità è sospeso in quello del cerchio verticale graduato AB, rotabile intorno ad un asse verticale e capace di descrivere tutta la circonferenza del cerchio orizzontale CD, il di cui centro è in quell'asse. Può questo cerchio perfettamente orizzontarsi mediante le viti del piede, ed un livello a bolla d'aria che su di esso poggia segna quando vi è giunto. Potendo dunque l'ago non oscillare in tal posizione che nel senso verticale, col disporsi il cerchio AB in un piano perpendicolare

a quello del meridiano magnetico si mette stabilmente l'ago in situazione verticale. Girando poi lo stesso cerchio AB per 90° sull'orizzontale CD, vi prenderà l'ago la situazione che gli è propria, vi formerà cioè colla verticale un angolo determinante l'inclinazione. Ha provato questo apparato che l'inclinazione cresce colla latitudine, ossia è minore nelle regioni vicine all'equatore e maggiore in quelle che si avvicinano all'uno od all'altro polo. Essendo nulla l'inclinazione sì nell'equatore che in molti altri punti; dalla riunione di tutti questi punti in cui resta l'ago perfettamente orizzontale, risulta una curva irregolare detta *equatore magnetico*, che serpeggiando intorno all'equatore terrestre lo taglia almeno in tre punti, allontanandosi or più, or meno, verso il sud e verso il nord; benchè le recenti osservazioni di DUPERRY provino di esser due questi punti d'intersezione e diametralmente fra loro opposti. Sembra certo intanto che anche l'equatore magnetico abbia un movimento al pari delle linee senza declinazione; che non sia cioè sempre passato pe' punti, pe' quali ora passa, e che questo moto sia dall'est all'ovest. Spiega MORLET con esso le annuali variazioni dell'inclinazione ne' diversi luoghi della terra. Il Prof. HANSTEEN di Cristiania ha trovato l'inclinazione maggiore nella state che nell'inverno.

4463. La terra dunque agisce sulle calamite al pari di una gran calamita, uno de' di cui poli magnetici fosse collocato verso il nord e l'altro verso il sud. Chi scoperto avesse i punti del globo terraqueo ove piantasi l'ago eretto a perpendicolo, ne avrebbe trovato i poli magnetici. Una barra infatti di ferro dolce posta in dire-

zione ed inclinazione dell'ago calamitato, ed anche in direzione verticale, si mostra magnetica finchè resta in quella situazione; onde questo magnetismo passeggero non può essere che lo effetto dell'azione della terra. Si estende questa nelle alte ragioni dell'atmosfera, non essendovisi trovata sensibilmente diminuita da BIOR e GAY-LUSSAC, che vi pervennero con volo aerostatico.

1464. Se un ago magnetico orizzontale, e liberamente girevole sul proprio perno devia dalla sua natural posizione, vi è tosto richiamato dalla *forza direttrice* della terra. Non vi si rimette però stabilmente che dopo di aver più volte dondolato al di quà ed al di là di quella situazione al pari di un pendolo allontanato dalla verticale. La forza acceleratrice, che pel pendolo è la gravità, è per l'ago la forza direttrice della terra. È dessa secondo COULOMB proporzionale al seno dell'angolo, che fa l'ago allontanato della sua natural direzione con questa, ossia col meridiano magnetico. In aghi egualmente pesanti, lunghi da 5 ad 8 pollici, sono le forze direttrici a un di presso secondo le lunghezze.

1465. La forza direttrice della terra non è eguale in ogni luogo, atteso il numero delle oscillazioni che fa in un dato tempo un ago calamitato; poichè ov'è maggiore la forza acceleratrice ivi più velocemente dee l'ago dondolare al di quà ed al di là della sua direzione (1). Le os-

(1) Per determinare l'intensità della forza magnetica in diversi luoghi della terra, o nel medesimo luogo ad epoche differenti, si adopera la *bussola d'intensità magnetica*. Quella costrutta da GAMBEY si compone di una scatola che ha nell'interno un quadrante graduato, e nel suo centro un ago magnetico liberamente sospeso ad un filo di bozzolo:

servazioni di HUMBOLDT, GAY-LUSSAC, QUETÉLET, e del Cap. BELCHER, fanno sospettare che la virtù magnetica della terra risieda o più energica si dispieghi verso l'equatore magnetico che verso le regioni polari. Le diligenti ricerche però del Prof. HANSTEEN e del Cap. SABINE fan credere che la forza magnetica nell'emisfero boreale cresca verso due punti, che riguardar si possono come *due poli magnetici boreali*, e le curve *isodinamiche*, o di egual forza magnetica, sono, a meno di qualche piccola anomalia, curve parallele site intorno a questi punti (1). Due simili poli credonsi pure nell'emisfero austra-

Ben garantita poi da vetri, è munita di viti di livellazione; e porta un piccolo cannocchiale per meglio osservarsi e determinarsi le oscillazioni dell'ago. Il metodo poi di questa valutazione è fondato sulle oscillazioni che fa un ago liberamente sospeso pel suo centro di gravità, quando, allontanato dalla sua posizione, si abbandona a se stesso, dovendo ritornarvi per mezzo di una serie di oscillazioni isocrono come quelle di un pendolo spostato dalla verticale. Considerando l'ago rimasto materialmente e magneticamente lo stesso, una differenza nel numero delle oscillazioni eseguite in un dato tempo non può dipendere che da una differenza nell'intensità delle forze che lo sollecitano; e restando il peso lo stesso, non può dipendere che da una differenza nell'intensità della forza magnetica. Or a queste condizioni, le intensità della forza e le durate delle oscillazioni sono subordinate al surriferito principio, d'esser cioè le forze fra loro come i quadrati dei numeri delle oscillazioni fatto nello stesso tempo. Quindi chiamando N ed n questi numeri, ed F ed f le forze magnetiche, si ha $F : f :: N^2 : n^2$.

(1) Si è osservato da DUPERREY che le curve *isodinamiche* hanno la forma delle curve *isotermitiche*, cioè di quello che hanno la stessa temperatura media. Ciò prova come le variazioni d'intensità magnetica si colleghino a quelle della

le. Secondo HANSTEEN la *forza o intensione magnetica* è in Cristiania più costante in estate che in inverno, benechè le diurne variazioni regolari siano anche ivi maggiori in giugno che in gennajo. Gli esperimenti di lui e di CHRISTIE provano che l'energia magnetica, almeno nel nord di Europa scema nel mattino ed è minima verso le 10 od 11 antimeridiane, onde cresce e si rende massima alle 7 pomeridiane, o qualche ora prima o dopo. KUPFFER Pr. a Kasan, attentamente esaminata in 14 mesi la durata delle magnetiche oscillazioni, l'ha trovata maggiore nel mattino verso le 8 antimeridiane, e minore la sera verso le 6 pomeridiane; massima in settembre ed ottobre, minima in febbrajo; essendo le diurne variazioni di questa durata maggiori nell'està che nell'inverno. Molto bene s'accordano questi risultati con quei di HANSTEEN.

1466. È notabile l'aumento del magnetismo in un ago quando la temperatura si abbassa, ed al contrario. È per ciò che nelle osservazioni, che si fanno sulla forza magnetica terrestre ne' diversi punti del globo, si segna la temperatura, tentandosi di ridurre per quanto è possibile la durata delle oscillazioni dell'ago ad una temperatura normale. Oltre della temperatura dee tenersi conto anche dell'influenza solare. Benchè CHRISTIE ripeta dalla differenza di temperatura le anomalie dell'ago magnetico osservato in casa ed in aria aperta; pure BARLOW, che eseguito ne ha gli esperimenti, le attribuisce all'azione del sole. CHRISTIE infatti assicura che le oscillazioni di un ago qualunque, e specialmente del magne-

temperatura; congettura a cui condurrebbe pure naturalmente l'osservazione del periodo diurno dell'ago calamitato.

tico , cessano più presto quando avvengono al sole che all' ombra ; d' onde inferisce di esercitare la luce bianca del sole una influenza magnetica (§. 1023); che perciò alcuni Fisici opinarono di tramandare il sole magnetismo alla terra, ed altri di tramandarne la terra al sole.

1467. Non si vuole omettere infine le straordinarie variazioni dell' ago magnetico per delle circostanze atmosferiche o per disordini terrestri (1). Le aurore boreali producono nell' ago de' notabili ed irregolari movimenti , benchè , secondo ARAGO , abbiano luogo ad una gran distanza, e sieno invisibili nel luogo in cui l' ago si osserva. I tremuoti producono ancora nell' ago, giusta le assicurazioni di questo fisico , de' movimenti istantanei , che lo fan dondolare come un pendolo dall' est all' ovest , benchè i tremuoti non siensi avvertiti nel luogo , o nel contorno del luogo in cui si osserva. Ed è noto infine che il fulmine cadendo presso di un ago , ne cangia talora ad un tratto i poli.

CAPITOLO V.

DELLA SCAMBIEVOLE AZIONE DELLE CALAMITE E DE' VARI CORPI.

1468. Risulta dal fin qui esposto che la virtù magnetica è naturalmente ne' fossili di ferro ossidolato , e che queste calamite naturali eccitar possono la stessa virtù nel ferro dolce e nell'acciajo. Oltre però del ferro pos-

(1) Questo straordinario ed irregolari oscillazioni diconsi da molti Fisici *impazzimenti* od *affollamenti* dell' ago magnetico.

sono altri metalli, al pari di esso permanentemente magnetizzarsi, come il niccolo ed il cobalto.

1469. Quest'ultimo metallo, quasi sempre combinato col ferro e coll'arsenico, non mostra alcuna proprietà per l'opposizione dell'arsenico al magnetismo. Purgato però da qualunque sostanza eterogenea, prende tosto la proprietà magnetica. WENZEL è giunto infatti a formare aghi da bussola, ottimi come quelli di acciaio (1).

1470. Non è però pel ferro, niccolo e cobalto una proprietà esclusiva il subire l'influenza della forza magnetica e mostrarne gli effetti. È dessa comune a molti corpi secondo le circostanze. Situate infatti parallelamente e nello stesso piano orizzontale due verghe di ferro magnetizzate, tra esse distanti di circa mezzo pollice, coi poli opposti in corrispondenza; e successivamente sospesi nello spazio tra esse compreso ad un sottil filo di seta alcuni cilindretti di diverse materie lunghi da 3 in 4 linee; vide COULOMB che ognuno di essi si disponeva sempre esattamente nella direzione delle verghe, e rimosso da questa situazione vi si rendeva costantemente dopo di alcune oscillazioni. Non si produceva alcun effetto quando le due verghe non e-

(1) Ai tre metalli aggiunge BERZELIUS il manganese ed il cromo come suscettibili di magnetizzazione. Assicura HERSCHEL di avere il titanio una debole virtù magnetica. TIBERIO CAVALLO asseriva di attrarsi l'antimonio dalla calamita dopo di aver subito l'azione del fuoco; di acquistare il rame ed il platino questa proprietà coll'esser martellati, e di perderla per l'azione del fuoco; ed i Professori HANSTEEN e PIANCIANI hanno ultimamente magnetizzato delle barre di ottone e di bronzo.

vano magnetizzate. Saggiate con questo esperimento varie sostanze, come l'oro, l'argento, il rame, lo stagno, il vetro, la creta, le ossa di diversi animali, mostrarono tutte colle loro oscillazioni di risentire l'azione delle verghe magnetiche. Questi fatti intanto non valsero ad imporne ai Fisici di quei tempi, talchè si proseguì a ritenere come assai limitato il numero de'corpi magnetizzabili, finchè gli esperimenti di LEBAILLIF, SAIGET, SEEBECK, HALDAT, DOVE e di BECQUEREL non deposero in contrario.

1471. Possono dunque tutti i corpi acquistare la virtù magnetica, od è questa un effetto della presenza di qualche particella di ferro? Ha osservato ARAGO in proposito due specie di fenomeni; si riferisce la prima all'influenza de'corpi in riposo sui moti dell'ago calamitato; e la seconda a quella de' corpi in moto sull'ago in riposo. I primi fatti sciolgono pienamente ogni quistione; e se il processo di COULOMB non è applicabile che ai corpi solidi; può quello di ARAGO applicarsi a tutti i corpi solidi, liquidi e gassosi.

1472. Se un ago calamitato sospeso ad un filo verticale si allontani dal meridiano magnetico, vi ritorna dopo alcune oscillazioni, che sempre più scemano di ampiezza. È il loro numero proporzionale alla qualità della materia su di cui l'ago oscilla. Così l'acqua liquida, la gelata, un piano di crown, raffrenano variamente le oscillazioni dell'ago; ma più distinti ne sono gli effetti coi metalli, e specialmente col rame. Un disco di questo metallo riduce a 4 il numero delle sensibili oscillazioni di un ago, che nell'aria e fuori la sua influenza, ne fa più di 400. Può dunque da questi fatti

inferirsi che tutti i corpi, e specialmente i metalli esercitano sull' ago calamitato un' influenza che l' ampiezza delle oscillazioni rapidamente diminuisce senza alterarne la durata.

1473. Osservando ARAGO di esser trattenuto un ago in moto da un corpo in riposo, pensò di turbare la quiete natural direzione di un ago magnetico con un corpo in moto. Realizzato questo pensiero, fu desso studiato e confermato da HERSCHEL, BABBAGE e CHRISTIE in Inghilterra; da PREVOST e COLLEDON in Svizzera; da NOBILI, BACCELLI, BARLOCCI, BOTTO e ZANTEDESCHI in Italia; e si produsse la dottrina del così detto *magnetismo per rotazione* (1).

1474. L'apparato atto a questa specie di esperimenti costa di due parti distinte. È la prima un sistema di ruote dentate per imprimere al disco un moto di rotazione; ed è la seconda un cilindro di vetro chiuso al di sotto da un foglio di carta o pergamena ed al di sopra da una lastra di vetro, che ha nel centro un' asta di rame, che si può alzare ed abbassare a piacere, e da cui pende un filo al quale è sospeso l' ago calamitato. Facendosi girare un disco di rame del diametro di 4 in 6 pollici, gira anche l' ago con una velocità corrispondente a quella del disco, senza alcun urto meccanico.

(1) *Exposé des recherches de MM. BABBAGE, HERSCHEL, CHRISTIE, BARLOW et MARSH sur le magnetisme developpé par la rotation dans le fer et d'autres métaux*, nella *Bibl. Univ.* Aout 1825—*Sur le magnetisme du cuivre et d'autres substances*, nel tom. 29 della *Bibl. Univers.* Janvier 1826 ove si descrivono gli esperimenti del Cav. LEOPOLDO NOBILI e del Prof. BACCELLI.

Un moto anche poco celere impresso al disco rotante basta a far deviare notabilmente l' ago ; se è desso lento ed uniforme, si fissa l' ago in una determinata posizione, non bastando in tal caso la potenza rotante a contrariare dell' intuito l' azione magnetica della terra, che richiama l' ago alla sua naturale posizione nel meridiano: se poi è tanto rapido da produrre una deviazione maggiore di un angolo retto è l' ago trasportato in modo da descrivere una circonferenza , proseguendo a muoversi con una velocità sempre crescente , finchè il disco cessi di girare; la forza infine che mette l' ago in rotazione è in ragion inversa della sua distanza dal disco , talchè vicinissimo a questo ne segue esattamente la rotazione senza arrestarsi ; e si arresta ad un angolo maggiore o minore col meridiano magnetico, secondochè la distanza dell' ago dal disco è maggiore o minore.

1475. Non bisogna poi che il disco sia di rame per eccitare la rotazione un' azione magnetica. Molte sostanze rotando hanno questa proprietà , e fra esse i metalli in grado superiore. I più attivi sono il rame e l' argento, meno l' oro e l' antimonio , e molto meno forse il bismuto. I cattivi conduttori , come i legni , la carta , il vetro. . . non producono effetti valutabili.

1476. Le fessure fatte nel disco di rame a guisa di raggi che dal centro vadano alla circonferenza, ne indeboliscono molto l' azione sull' ago magnetico. Ma HERSCHEL e BABBAGE han provato che riempiendosi questi intervalli del disco con altro metallo (purchè non in polvere) , benchè di minor energia magnetica , riprende il disco a poco a poco la primiera attività.

1477. Potendo i dischi metallici rotanti comunicare

il loro moto agli aghi magnetici, basta la rotazione delle sbarre magnetiche a trascinare nel suo moto gli aghi ed anche i dischi di rame e di altro metallo convenientemente sospesi. BARLOCCI infatti fissando sul piano circolare della macchina rotante quattro sbarre magnetiche di acciaio in modo che i loro poli nord eran rivolti alla periferia, ed i poli sud coincidevano col centro del piano; osservò che un ago di rame lungo 6 pollici, e sospeso ad un fil di seta sul centro del piano, volgendosi questo acquistava lo stesso moto di rotazione. Lo stesso successo ottenne sostituendo all' ago di rame quelli di vario metallo.

1478. Sottoposte al moto rotatorio alcune sbarre di acciaio ed anche di ferro dolce non calamitate, per far loro acquistare un permanente magnetismo, non ebbe alcun risultato. Ma BARLOW, MARSH e CHRISTIE assicurano di aver con questo mezzo calamitato il ferro (1).

1479. Guidato il celebre POISSON da idee affatto nuove sul magnetismo, mediante una rigorosa analisi, è giunto a darc degli esposti fenomeni la seguente ragione (2). Ammette egli in ogni elemento magnetico oltre la *forza coercitiva* (§. 1452) una forza analoga alla *resistenza de' mezzi*, capace di ritardare il moto delle imponderabili particelle del fluido magnetico. Indipendente questa forza dalla prima, varia colla natura, colla temperie, e colla diversa disposizione delle molecole dei corpi. Così quando un corpo è in riposo,

(1) *Bibl. Univers.* Tom. XX.

(2) Trattandosi dei fenomeni d'induzione magneto-elettrica, si ritornerà su questo argomento.

è sospinto da un' azione magnetica fissa , che aumenta la durata necessaria alla produzione dell' effetto che deve aver luogo; mentre i fenomeni sviluppati dopo un certo tempo sono identici , come se questa forza non esistesse. Ma quando la forza magnetica cambia rapidamente di sito , od il corpo stesso è in movimento , la resistenza che il fluido magnetico in tal caso soffre nel suo spostamento , determina una disposizione molecolare che differisce da quella che avrebbe luogo se il corpo fosse immobile, onde ne risultano fenomeni affatto differenti.

1480. Avendo FARADAY esposto all'azione di potenti calamite i metalli, i loro ossidi, ed altre loro combinazioni coi metalloidi e cogli acidi (1), ne ottenne fenomeni più generali , e del più alto interesse. Distingue egli primieramente i metalli in *magnetici* e *diamagnetici* , secondocchè avvertono l'azione attrattiva dei poli magnetici , o ne sono affatto respinti , valutando la relativa loro forza magnetica dal numero delle oscillazioni, che le varie verghe metalliche eguali compiono nell' equatoriale magnetico (2).

(1) Nell'istituire l'illustre FARADAY gli importanti esperimenti, di cui si dà un cenno , ha fatto uso principalmente di una elettro-magnete (calamita temporaria), come di forza incomparabilmente maggiore della più possente calamita artificiale. Si parlerà di essa in appresso.

(2) Avendo FARADAY osservato nel campo magnetico due principali direzioni di posizione , chiama *assiale* la linea di forza magnetica , che va dall'uno all'altro polo della calamita ; ed *equatoriale* la normale condotta pel centro di questa linea. Chiama del pari *curve magnetiche* le linee segnate dalle lature dei metalli magnetici intorno ai poli delle ca-

1481. In queste sue ricerche ha egli trovato che gli ossidi dei metalli magnetici sono più o meno attratti dalla calamita, e che tale virtù magnetica non è menomamente alterata dall'azione calorifica. Esaminando poi il magnetismo delle altre combinazioni degli stessi metalli, rinviene magnetiche tutte quelle in cui entra il ferro come base; ma le più notabili sono i suoi due cloruri, il ioduro, i solfati ed i fosfati di ambi i suoi ossidi, il nitrato, il carbonato, ed il cianuro od azzurro di Prussia. Tra i prodotti naturali ha sperimentato magnetici principalmente il ferro ossidato, l'ematite, il ferro cromicato, la pirite marziale, l'arsenicale (mispickel), le piriti di rame (rame-ferro solforato), ed altri solfuri ferruginosi.

1482. Ha trovato ancora magnetiche le soluzioni dei sali di ferro e quelle del solfato di niccolo, di cobalto, ed i puri cristalli di questi due solfati; e tali da poterli costruire delle *calamite liquide*, diafane, e suscettibili, tra certi limiti, di assumere diversi gradi di energia capaci di essere esattamente valutati (1). Riscaldando queste soluzioni, l'energia con cui son esse attratte dalla calamita menomamente non si altera. Esponendo lamite (§. 1446); e *curve diamagnetiche* quelle segnate dal moto dei corpi respinti dai poli medesimi.

(1) Istitul FARADAY i suoi sperimenti colle *calamite liquide* nel seguente modo. Disciolti 74 grani di protosolfato di ferro (vitriolo verde) in un'oncia di acqua, divise questa soluzione in tre parti eguali, versandone ciascuna in un vaso distinto. Lasciata la prima in questo stato, diluì la seconda con 3 volte il suo volume di acqua, e la terza con 15. Essendo le proporzioni del sale in queste tre soluzioni approssimativamente come 16 : 14 : 1, ne dedusse egli che le

poi alcune combinazioni chimiche di altri metalli all'azione della più poderosa elettro-magnete, non offrono alcun segno di attrazione.

1483. Indagando FARADAY l'indole magnetica delle varie combinazioni metalliche ha osservato che dirigonsi sulla linea dei poli, l'ossido di titanio, il protossido, il cloruro, il solfato, l'ammonio-solfato, il fos-

forze magnetiche dei tre liquori poteansi esprimere coi numeri 1, 2, 3. Ripieni di queste soluzioni tre tubi di vetro, e chiusi esattamente, li sospese nel campo magnetico di una calamita temporanea, e vide che dirigevansi essi sulla linea dei poli con una energia proporzionale alla densità del liquido che contenevano. Avendo poscia tenuto immersi questi tubi nelle soluzioni ferruginee, ebbe de' fenomeni per quanto bizzarri altrettanto interessanti. Il tubo pieno della soluzione num. 1 immerso in un vase pieno della medesima soluzione, perdè la forza direttrice, mentre nelle altre due soluzioni si diresse sulla linea dei poli, ma più energicamente in quella del num. 3 che nell'altra del num. 2. Il tubo pieno della soluzione num. 2 nella soluzione num. 1 fu respinto e passò nell'equatoriale, come il vetro pesante (flint-glass), il bismuto, il fosforo; divenne inerte nella soluzione num. 2, e si volse verso i poli in quella del num. 3. Finalmente il tubo num. 3 si dispose secondo l'equatoriale nelle soluzioni num. 1 e num. 2, e si mostrò inerte nel liquido num. 3. Avendo ripetuto questi esperimenti con altri liquori ferruginosi, ne concluse, che la soluzione contenuta nel tubo si dirige secondo i poli della calamita quando è immersa nelle soluzioni più deboli; è indifferente in quella di egual forza; ed assume la posizione equatoriale nelle più concentrate. Così sospendendo i tubi verticalmente presso l'uno dei poli dell'elettro-magnete, l'attrazione manifestasi costantemente nella più debole soluzione, l'indifferenza in quella di egual densità, e la repulsione nella più concentrata.

fato , il borato ed il carbonato di manganese ; il protossido idrato, il cloruro ed il carbonato di cerio; l'ossido cristallizzato di cromo, e l'acido cromico; d'onde ha dedotto che il titanio , il manganese , il cerio ed il cromo sono magnetici. Nello stesso modo ha ritrovato parimente magnetici il platino ed il palladio ; e diamagnetici , alla maniera cioè del vetro e dell'acqua, l'arsenico , l'iridio, il rodio, l'uranio, il tungsteno, l'argento , l'antimonio , il bismuto, il sodio, il magnesio, il calcio , lo strontio , il bario , il potassio. Avendo poi fortemente riscaldato molti di questi metalli diamagnetici , in modo da liquefarne anche alcuni , non ha ottenuto verun cambiamento nella loro virtù magnetica. Dietro gli esposti risultati classifica egli i metalli *attrattivi* , cioè *magnetici* , ed i *ripulsivi* , cioè *diamagnetici* , come segue.

Magnetici — Ferro — Niccolo — Cobalto — Manganese — Cromo — Cerio — Titanio — Palladio — Platino — Osmio ?

Diamagnetici — Bismuto — Antimonio — Zinco — Stagno — Cadmio — Sodio — Mercurio — Piombo — Argento — Rame — Oro — Arsenico — Uranio — Rodio — Iridio — Tungsteno.

4484. Non ha tralasciato FARADAY di sperimentare l'azione delle calamite su i fluidi elastici. Sotto di un recipiente comunicante colla macchina pneumatica e nel campo magnetico della calamita temporaria, avendo liberamente sospeso ora una piccola barra di bismuto , ed ora un parallelepipedo di flint glass , si è convinto che questi corpi oscillano equabilmente nella loro posizione di equilibrio normale alla linea de' poli , tanto

nel vuoto, che nell'aria, nel gas idrogeno, e nel gas acido carbonico. Chiuso poi esattamente un tubo di flint-glass pieno di aria, lo ha successivamente immerso nell'acqua, nell'alcool, nell'essenza di trementina, ed anche nel mercurio; tenendolo verticalmente per mezzo di pesi attaccati di sotto, ha osservato che questo non più oscilla intorno all'equatoriale, ma intorno alla linea assiale, onde lo dimostra attratto dai poli della calamita. Quest'ultimo fatto richiama tutta la considerazione, la possibilità mostrando di estendersi alle sostanze diamagnetiche le relazioni che manifestansi nei corpi magnetici tra il mobile ed il fluido.

1485 Un nuovo rapporto ha scoperto l'illustre FARADAY tra il magnetico e la luce polarizzata. Consiste questo rapporto in una rotazione impressa al fascio di luce polarizzata quando questa attraversa un mezzo rifrangente collocato presso di una potente calamita voltaica (1). Spinge egli all'uopo un raggio di luce polarizzata attraverso di un vetro composto di silicato e borato di piombo, a cui POUILLET ha sostituito un pezzo di flint glass. Molto dappresso a questo vetro vi è una potente elettro-magnete in forma di ferro di cavallo,

(1) Vedi l'analisi delle tre memorie di FARADAY pubblicate nel *Rendiconto della Reale Accademia delle Scienze di Napoli*, T. V, 1846, con importantissime annotazioni del ch. Professore Cav. MELLONI intorno alle *Azioni delle calamite e delle correnti elettriche su la luce polarizzata, e la massima parte de' corpi ponderabili*, che il prelodato MELLONI a ragione crede che FARADAY dovea invece intitolare: *Rotazione del piano di polarizzazione di un raggio di luce entro i mezzi diafani sottoposti alla forza magnetica*.

disposta in modo che la retta congiungente i due poli è parallela alla direzione del fascio luminoso. Appena che pel filo della calamita circola l'elettrico, e quindi manifestasi il potere magnetico, il piano di polarizzazione della luce dal vetro emergente non ha più la posizione di prima, piegando a destra od a sinistra. Determina poi queste deviazioni guardando il raggio emergente dal vetro con un prisma di Nicol (1) disposto in modo da potersi girare per intercettare il raggio, e permettergli alternativamente libero il passaggio. Se adunque il prisma è talmente disposto da rendere il raggio invisibile prima che la circolazione della corrente elettrica sia aperta, esso si mostra immediatamente all'aprirsi della medesima, e subito di nuovo sparisce appena s'interrompe il circuito. Proseguendo così le sue ricerche si è convinto che l'azione magnetica costringe il piano di polarizzazione del raggio po-

(1) Il *prisma di Nicol* si forma dividendo in due parti un lungo pezzo romboidale di spato islandico, le quali poi si uniscono per le loro superficie pulite mediante il balsamo del Canada o di trementina. Lo strato resinoso agisce, relativamente al raggio ordinario del cristallo islandico, come un debole mezzo rifrangente della luce, e per rispetto poi al raggio straordinario come un forte mezzo rifrangente. Il primo raggio quindi prova, a causa dell'angolo obbliquo sotto cui incontra lo strato resinoso, la riflessione totale e viene lateralmente deviato; talchè non perviene a traverso il prisma lungo la linea ove è collocato l'occhio, il quale per ciò riceve soltanto il raggio straordinario. Un tal prisma agisce dunque come una lamina di tormalina tagliata parallelamente al suo asse cristallografico, avendo però su questa il vantaggio di non dar verun colore alla luce, e lasciare a questa la maggiore intensità.

larizzato a ruotare ; imperciocchè il raggio si rende nuovamente visibile col solo girare sino ad un certo segno il prisma ; e che la direzione del moto rotatorio impressa al raggio , partendo l' influenza magnetica dal polo sud , e camminando per la medesima direzione del raggio polarizzato, viene rovesciata a dritta rispetto all' osservatore che tiene l' occhio al prisma.

1486. Quindi è che da qualunque lato il fascio luminoso così s' inclini , lo si può far deviare istantaneamente pel lato opposto , cangiando la direzione della corrente. Ne segue similmente , che il raggio polarizzato ruota nella direzione medesima delle correnti di elettricità positiva sì nelle eliche componenti la calamita temporaria , che nell' istessa sostanza dell' acciaio calamitato , secondo la dottrina di AMPÈRE , che si esporrà in appresso. Ha finalmente il dotto autore trovato l' azione rotatoria sempre proporzionale alla intensità della forza magnetica, e non a quella della corrente elettrica; nonchè alla lunghezza di quella parte di raggio sottoposta all' influenza magnetica.

1487. Sonevi molte sostanze trasparenti , che di lor natura agiscono sulla luce polarizzata , deviandone il piano in uno od altro senso (§. 1091); ignoravasi però di potersi tal deviazione produrre da altro imponderabile. Tale scoperta adunque , unica nel suo genere, richiama tutta l' attenzione dei Fisici, potendo menare a conseguenze di un alto interesse.

CAPITOLO VI.

IPOTESI SUL MAGNETISMO.

1488. I fenomeni degli aghi magnetici nella loro inclinazione e declinazione han fatto riguardar la terra come una gran calamita , ravvisandosi nella sua azione sugli aghi le stesse leggi , con cui una calamita agisce sull'altra. Ammettendo CARTESIO il vortice magnetico circolante da un polo all'altro della terra , rese conto della declinazione ed inclinazione degli aghi calamitati, prodotte dalla corrente che circolando sul globo secondo la sua curvatura li ritiene quando sono liberamente sospesi nella propria direzione. Per la declinazione poi suppose che i poli del vortice magnetico lungi dal coincidere con quelli del mondo , ne declinano di alcuni gradi.

1489. Caduta l'ipotesi cartesiana , all'impulso de' vortici si sostituirono delle forze agenti in distanza su centri esistenti nel globo , prodotte da un'immensa calamita costituente il nocciuolo della terra. Perciò suppose FRANKLIN nelle calamite , nel ferro , e negli altri corpi magnetizzabili un *fluido magnetico* capace di produrre tutti gli esposti fenomeni quando sia rarefatto , o condensato , o comunque attivato dall'azione delle calamite o della terra.

1490. A questo fluido ne sostituì il COULOMB uno composto , al pari dell'elettrico, di due fluidi distinti. Finchè questi sono uniti si neutralizzano scambievolmente ; il fluido composto , detto *neutro*, è nello stato

naturale ; ed in questo essendo anche il corpo, che lo contiene , non dà luogo ad alcun fenomeno. Agendo però qualche causa inegualmente sull' uno o l' altro dei componenti, essi si sviluppano ed il corpo si magnetizza. Sviluppati , repelle ognun d' essi le proprie parti e quelle dell' altro attrae con forze direttamente proporzionali alla qualità attraente o repellente , ed in ragion inversa del quadrato delle distanze (§. 1449). Accumulandosi in un polo l' uno , e nell' opposto l' altro , ne prendono essi la denominazione , e *fluido australe* dicesi quello raccolto nel polo nord , e *fluido boreale* quello accumulato nel polo sud (§. 1445). ANDREA HORNE ha variato in proposito l' ipotesi di COULOMB , assumendo di non cumularsi i due fluidi , ma di circolare in opposte direzioni (1). Comunque sia, fino a che i due fluidi si mantengono separati , conserva il corpo la virtù magnetica, e la perde tostocchè si riuniscono. Sembra senza dubbio più verisimile che scorrano le particelle di ogni fluido pel corpo che si magnetizza onde recarsi ai rispettivi poli; ma sembra anche più ragionevole di trovarsi in ogni particella porzioni eguali di ambi i fluidi sviluppati, le quali finchè le particelle restano in contatto si *neutralizzano* , quasi *accidentalmente* , nè mostrano le loro proprietà che quando le parti separansi, come accidentalmente annientansi le diverse elettricità di due lamine contigue. Dividendosi perciò in più parti una barra magnetizzata , od una calamita naturale, ogni pezzo ha i due poli ed è una piccola calamita (§. 1455). Del resto al solo sviluppo ed

(1) *Journ. de Phys.* tom. 86. p. 38.

accumulamento de' due fluidi separati devesi la virtù magnetica che si eccita da corpo a corpo senza passare dall' uno all' altro alcuna porzione di fluido ; onde si trova sempre nella calamita, nel ferro, nel niccolo . . . la stessa quantità di fluidi combinati o sviluppati (§. 1455). La loro separazione , il loro moto e la loro riunione è contrariata dalla forza coercitiva del ferro , tanto maggiore quanto esso è più duro.

1491. L' azione quindi delle attrazioni e ripulsioni dei due fluidi spiega tutti i fenomeni magnetici. Quando s' accosta al polo boreale di una calamita l' australe di un' altra , avvicinandosi i fluidi di diverso nome più di quei dello stesso nome , l' attrazione dei primi prevale sulla repulsione de' secondi. L' opposto segue nell' avvicinarsi i poli dello stesso nome. Perciò si attraggono le calamite e si repellono secondocchè si avvicinano poli di diverso o identico nome (§. 1450).

1492. Accostandosi al polo d' una calamita, naturale od artificiale , una verga di ferro non magnetizzata , il fluido in quello accumulato decompone colla sua energia attrattiva e ripulsiva il fluido naturale della verga , attrae a se il componente di diverso nome e repelle l' altro. Acquista quindi la verga nella parte vicina al polo della calamita una polarità diversa , e nella rimota una omologa. Per tale diversa polarità eccitata dalla calamita nella verga è questa da quella attratta (§. 1445); e se il magnetismo eccitato può trattenersi dalla forza coercitiva (§. 1452), resta la verga stabilmente magnetizzata (§. 1451).

1493. La forza coercitiva contrariando la riunione de' fluidi sviluppati e l' ulteriore sviluppo de' combina-

ti , trattiene il magnetismo sviluppato , e ne modifica lo sviluppo secondo il rapporto di essa colla forza magnetizzante della calamita. Nella parte della verga più prossima alla calamita l'energia dell'attrazione e della ripulsione, con cui la forza del polo decompone il fluido naturale della verga , supera di molto l'intensità della forza coercitiva , onde si ha copioso sviluppo di magnetismo. Essendo però l'energia delle attrazioni e ripulsioni magnetiche in ragion inversa della distanza de' punti su cui agisce, mentre la forza coercitiva è sempre la stessa ; dev'essere nella verga un punto , in cui equilibrandosi le due forze cessa ogni sviluppo. La distanza di questo punto dall'estremo sarà in ragion composta dalla diretta della forza magnetica della calamita e dall'inversa della coercitiva della verga. Ma il fluido australe , per esempio , sviluppato e fissato nella parte magnetizzata della verga agisce sul fluido naturale ch'è oltre quel punto e lo decompone ; respinge l'australe e richiama il boreale : da quel punto comincia quindi un' inversione di magnetismo. Opponendosi la forza coercitiva allo sviluppo del magnetismo boreale e dell'australe prodotto dalla calamita , in un nuovo equilibrio tra la forza che produce lo sviluppo e la coercitiva si ha un'altra inversione di magnetismo; cioè si sviluppa di bel nuovo il magnetismo australe , che allo stesso modo e per la stessa ragione può esser seguito da una terza inversione. Quanto è poi maggiore la forza coercitiva della verga , equilibrandosi essa più presto colla forza magnetizzante , tanto più pronte e numerose esser possono le inversioni del magnetismo. S'intende quindi perchè il magnetismo eccitato s'infie-

volisce man mano (§. 1455), e perchè tanto più facilmente ed in maggior numero si formino i punti conseguenti quanta è maggiore la forza coercitiva (§. 1455).

1494. I fluidi sviluppati ed accumulati nella calamita magnetizzante e nel ferro magnetizzato, che restano aderenti, reagiscono colla loro forza attraente e repellente sul fluido naturale dell'una e dell'altro scambievolmente, producendo così un'altra decomposizione. Perciò per il lungo contatto del ferro colla calamita si aumenta la forza di entrambi (§§. 1449 — 1455); le armature rendono più energiche le calamite (§. 1447); e successivamente caricate sostengono un peso maggiore di quello di cui lo sono ad un tratto (§. 1448). Nel tempo che passa tra le successive applicazioni delle parti del carico, sviluppandosi altro magnetismo, si rende più vigorosa la calamita, e si aumenta forse lo sviluppo per lo sforzo della calamita a sostenere il peso.

1495. La decomposizione del fluido magnetico è tanto più facile e copiosa quanto è più vigorosa l'azione con cui segue; venga questa da una forza più intensa o da più forze cospiranti a produrre lo stesso effetto. Quindi la diversa efficacia de' varii metodi di magnetizzare le verghe di acciajo (§§. 1451—1454), e la preferenza di quello di doppio a quello di semplice contatto (§. 1454). E poichè inclinando le verghe magnetizzanti le direzioni delle forze si abbassano sulla verga da magnetizzarsi, onde più considerabili si rendono le componenti ad essa parallele; perciò più pronta e vigorosa risulta la magnetizzazione per l'inclinazione delle verghe magnetizzanti (§. 1454).

1496. Attesa l'immensa quantità del magnetismo ter-

restre , le sue forze attrattive e repulsive debbono sentirsi anche a grandissima distanza, come è quella interposta tra le calamite , le barre magnetiche ed il ferro , siti sulla terra , ed i centri di azione di questa. Perciò i corpi magnetizzati , liberamente girevoli, si dirigono costantemente verso il meridiano magnetico ; e le barre , specialmente di ferro dolce, poste nella sua direzione si magnetizzano spontaneamente , principalmente quando l'azione del magnetismo terrestre è favorita dalla percossa , dalla torsione , dal riscaldamento e simili (§. 1457).

1497. Emerge da ciò che una calamita , posta per esempio tra l'equatore ed il polo boreale, rivolge i suoi poli verso quelli della terra ; abbassa il polo australe , s'inclina cioè attraendosi questo dal boreale della terra, mentre repulso il boreale sollevasi (§. 1462). E non coincidendo i poli astronomici coi magnetici , declina essa dal meridiano astronomico (§. 1461). Variando poi la forza magnetica della terra nelle diverse ore del giorno e ne' differenti tempi dell'anno, variano con periodi corrispondenti la declinazione ed inclinazione. A conciliarne le anomalie e variazioni con questa ipotesi, attribuì GALLEY un lento moto di rotazione alla gran calamita da lui supposta nocciuolo della terra. E degne sono di elogio le ricerche da BIOT istituite su questi fenomeni, attesi i mezzi impiegati per calcolare gli effetti del magnetismo terrestre.

1498. Ne ripetono alcuni l'origine da un nucleo magnetico del globo , altri da copiose miniere di calamita in esso sparse , la di cui azione si estende sino alla superficie ; ed altri infine da una certa forza magnetica di

tutte le particelle della terra, che si manifesta eminentemente nel ferro, e che è come la risultante di queste forze parziali. Ma TRAILL per alcune considerazioni opina che il magnetismo terrestre ed i suoi fenomeni siano l'effetto di due forze, cagionata una dalla composizione e relativa posizione de' diversi materiali del globo, come la rispettiva posizione di varie sostanze sviluppa l'elettricismo; e prodotta l'altra dall'ineguale distribuzione della temperatura, che può spiegare secondo lui alcuni importanti fenomeni del magnetismo terrestre.

4499. Benchè dimostri il sin quì detto in qual modo abbia l'ipotesi di COULOMB tra essi legato i più notabili fenomeni magnetici; uopo è pur nondimeno confessare che pria della scoperta dell'elettro-magnetismo, che molta luce ha diffuso su questo ramo delle scienze fisiche, ben imperfetta era ancora la teoria del magnetismo, ed inesplicabili n' erano parecchi fatti.

LIBRO DECIMOTERZO

DELL' ELETTRO-MAGNETISMO.

CAPITOLO. I.

DELL' AZIONE DELLE CORRENTI ELETTRICHE
SUGLI AGHI MAGNETICI.

1500. Avendo osservato i fisici Italiani ROMAGNOSI e MORON che l' elettrica corrente passando pel filo congiuntivo dell'apparato elettromotore può deviare l' ago magnetico dalla sua natural direzione , non destò questo fatto l' attenzione degli altri dotti che nel 1820. Fu in quest' epoca che il Professore OERSTED di Copenaghen meglio dimostrò i rapporti del fluido elettrico col magnetico. Gli esperimenti all' uopo istituiti furono i seguenti. Posta una pila orizzontale in direzione del meridiano magnetico , ed apertane la corrente con un filo congiuntivo ; accostandosi a questo parallelamente un ago magnetico girevole sul proprio perno ed equilibrato nel suo meridiano, variamente deviava dalla sua natural posizione secondo le circostanze. Posta la pila in direzione del meridiano magnetico , col polo positivo verso il nord , col negativo verso il sud (Tav. 18 fig. 47) ed il filo congiuntivo ad essa parallelo, di modo che la corrente sia diretta dal sud al nord nella pila ed all' opposto nel filo congiuntivo: s'immagini che lo sperimentatore sia come coricato sul filo talchè la corrente , che dal polo positivo passa al ne-

gativo , sia diretta dai piedi alla testa, ed abbia la faccia costantemente rivolta verso l'ago; mettendo questo sul filo congiuntivo devia in modo , che il polo nord , detto australe si spinge verso ponente , cioè a sinistra dello sperimentatore o della corrente ; mentre ponendolo sotto il filo devia verso levante , e quindi anche a sinistra dello sperimentatore , che per tener la faccia sempre rivolta all'ago ha dovuto rovesciarsi. Se poi l'ago sempre al filo parallelo gli si mette accanto alla stessa altezza , la deviazione non è più orizzontale , ma verticale , talchè il polo nord si deprime se l'ago trovasi dalla parte di levante , e si solleva se da quella di ponente. Ma se la corrente galvanica si dirige in opposto senso , dal sud cioè al nord , tutte le deviazioni dell'ago avvengono in senso contrario alle indicate.

1501. Non subendosi quest'azione dagli aghi formati di altro metallo incapace di magnetizzazione , ripete OERSTED questo fenomeno da una specie di conflitto elettrico , supponendo egli le molecole magnetiche , a differenza di quelle degli altri corpi , impermeabili al fluido elettrico. Ed osservò che questo conflitto seguiva in tal caso la direzione de' moti circolari , declinando l'ago all'ovest quando era sopra , ed all'est quando era sotto il filo congiuntivo , ed elevando la punta australe quando era da un lato , ed abbassandola quando era dall'altro dello stesso filo.

1502. Se poi il filo congiuntivo è verticale , e la corrente vada dal basso in alto , messo accanto ad un ago calamitato in un punto medio tra uno de' poli ed il mezzo dell'ago ; si rivolge costantemente questo polo verso ponente (ovest) qualunque sia esso ed il lato dell'ago , a cui si è il filo accostato.

1503. Se infine al filo congiuntivo situato nel meridiano magnetico si presenta l'ago normalmente, non solo il polo, ma tutta la massa dell'ago è attratta o repulsa. Anzi in siffatti sperimenti sono sempre gli aghi attratti o repulsi, e tutti i moti che per l'azione elettrica vi si eccitano non sono di semplice rivoluzione intorno ai centri di gravità, ma di vera traslazione normale all'elettrica corrente, spesso impediti dal peso degli aghi stessi o da altri ostacoli.

1504. Non è da trasandarsi tra questi la forza magnetica della terra. Ad ovviarvi s'infila fissamente alla verga rigida A l'ago NS (Tav. 48 fig. 48) da avvicinarsi al filo conduttore, presso l'altro ago S'N' che abbia i poli in senso contrario, talchè l'azione direttrice della terra nell'uno annullata sia dall'eguale e contraria esercitata sull'altro. Questo apparato così sottratto all'azione direttrice della terra dicesi *ago astatico*, il quale assoggettato all'azione dell'elettrica corrente, per la deviazione che da questa soffre, riduce il suo asse in un piano normale al filo congiuntivo. La deviazione dunque degli aghi semplici minore di 90° non si deve che all'ostacolo opposto all'azione del filo dalla forza direttrice della terra.

1505. Seguono questi fenomeni con tanto più di energia ed a tanta maggior distanza, per quanto l'intensità della corrente elettrica che li determina è più grande. Crescendo questa infatti o scemando, purchè varii la quantità del fluido o la deferenza del filo congiuntivo, cresce in corrispondenza o diminuisce la deviazione dell'ago. Ed essendo la quantità del fluido che costituisce la corrente elettrica proporzionale all'azione

chimica che sviluppa il liquido eccitatore ; si rendono le correnti tanto più vigorose quanto più ampie sono le superficie degli elettromotori e più pochi ne sono gli elementi ; non contribuendo la moltiplicazione di questi che ad accrescerne soltanto la tensione (§. 4353). Si rendono inoltre tali fenomeni più intensi se si fa replicatamente passar la corrente intorno all' ago, opportunamente ripiegando il filo congiuntivo con molte circumvoluzioni. Ma interrompendosi comunque il circuito , rendesi subito l' ago al suo meridiano , e ritorna alla stessa deviazione appena si riapre.

4506. Si è cercato da BIOT e SAVART di determinare la legge secondo la quale una corrente agisce sull' ago magnetico a varie distanze. Per dedurla han fatto oscillare innanzi ad un conduttore rettilineo verticale un ago magnetico prismatico sospeso orizzontalmente pel suo centro di gravità ad un filo senza torsione, e reso astatico da una poderosa calamita convenevolmente posta ad una competente distanza. Supposta l' intensità della corrente costante , dal paragone dei quadrati dei numeri delle oscillazioni dall' ago eseguite alle diverse distanze , han dedotto che l' azione della corrente sull' ago varia in ragione inversa della semplice distanza. Applicando LAPLACE l' analisi a questa legge , ha conchiuso che l' azione esercitata da un elemento lineare di una corrente sulla particella di una calamita , varia in ragione inversa del quadrato della distanza , e proporzionalmente al seno dell' angolo che fa colla direzione della corrente la linea che congiunge i centri dell' elemento e della particella. Anche il semplice ragionamento persuade , che l' azione di un conduttore su di

una calamita non si riduce a quella soltanto de' suoi punti più prossimi alla medesima , ma a quella bensì di tutti i punti del conduttore, i quali vi agiscono con una intensità decrescente colla loro distanza , e colla maggiore inclinazione con cui operano. E non variando l'azione di questi punti per tutti egualmente nell'allontanarsi del conduttore; l'effetto della distanza è minore di quello che sarebbe se si riducesse ad un sol punto del conduttore medesimo.

1507. Ora il filo congiuntivo agisce come una calamita non solo sull'ago magnetico deviandolo dalla sua naturale direzione , ma anche sulla limatura di ferro , specialmente dolce , attraendola da lungi , con forza proporzionale all'energia della corrente. E non solo i fili di ferro dolce e di acciaio divengono magnetici , prendosi con essi la comunicazione con i due i poli dell'apparato elettro-motore ; ma secondo ARAGO anche quelli di altro metallo , e specialmente di rame, di argento , e di platino , acquistano la stessa proprietà , attraendo la limatura di ferro , di cui tutto all'intorno si rivestono , e che cade nell'istante in cui la circolazione della corrente elettrica s'interrompe. Non esercitano però la stessa forza attrattiva sulla limatura di rame , di ottone, o d'altro metallo non attirabile dalla calamita , nè sulla segatura o raschiatura di altre sostanze ; il che prova in essi un'azione puramente magnetica. Questa momentanea magnetizzazione prodotta nel ferro dolce ed in altri metalli dalla corrente voltaica si rende talora permanente sostituendosi alla limaglia di ferro dolce quella di acciaio.

1508. DAVY annunziò il primo che le piccole ver-

ghe e gli aghi di acciaio collocati trasversalmente sul filo congiuntivo dell'apparato elettromotore si magnetizzano, e specialmente se si strofinano sullo stesso filo sempre nel medesimo senso trasversale (1). Ma le più importanti ricerche non si debbono in proposito che ad ARAGO ed AMPÈRE. Hanno essi ottenuto la completa magnetizzazione degli aghi di acciaio mettendoli in una spira metallica comunicante per gli estremi con i due poli dell'apparato elettromotore. Un ago di acciaio messo in un filo congiuntivo spirale *dextrorsum*, le di cui evolute cioè rivolte siano da destra a sinistra, acquista il polo australe o nord nell'estremo rivolto al polo negativo dell'apparato; mentre questo stesso polo si forma dal lato positivo impiegandovisi un'elica *sinistrorsum*, avvolta cioè da sinistra a destra. Piegendosi quindi un lungo filo congiuntivo AF (Tav. 49 fig. 4), la parte AB in elica da destra a sinistra, la parte CD da sinistra a destra, e la parte EF da destra a sinistra, un cilindretto di acciaio posto in queste tre spirali acquista il polo australe in A, principio della prima elica, ed il polo boreale in B suo fine; un altro polo boreale in C, principio dell'elica opposta, ed un altro australe nel suo fine D; ed infine un terzo polo australe in E ed un altro boreale in F. Aumentandosi le eliche, volte successivamente in opposti sensi

(1) L'Italiano Professore C. Monozzo avea però scoperto fin dal 1803 che la corrente galvanica attraversando le piccole barre e gli aghi di acciaio li magnetizza; ma colpito da prematura morte non poté pubblicare questa scoperta. *Antol.* t. 41. p. 143.

accrescer si può il numero de' poli ripetuti o punti conseguenti.

1509. Il Professore di Berlino POGGENDORF avendo congegnato un altro apparato spirale per magnetizzare gli aghi di acciaio, lo ha chiamato *condensatore galvanomagnetico*. Costa questo di un filo di rame AB (Tav. 49 fig. 2) coperto di seta e avvolto a spire formanti un' elica di circa 30 a 40 giri. Fissato l'estremo A in una lamina di zinco, e congiunto l'altro B con una di rame, giacciono entrambe nell'acqua acidolata coll'acido nitrico. Disposto verticalmente l'apparato, e sospeso l'ago d'acciaio *ab* al vertice del perno verticale C, acquistando bentosto la polarità si dirige da se stesso nel meridiano magnetico.

1510. Si magnetizzano gli aghi sì per l'azione delle correnti elettriche promosse dagli apparati elettromotori, che colle scariche della boccia di Leida caricata coll'elettricismo di frizione, come si è dimostrato dal Marchese RIDOLFI; ed in ambi i casi si aumenta la forza magnetica negli aghi sottoposti all'azione elettrica in spire metalliche, col numero delle evolute; cioè si rende tanto maggiore quanto più strette e serrate sono le curve, che la corrente elettrica scorrer deve nel suo passaggio.

CAPITOLO II.

AZIONE DELLE CORRENTI SULLE CORRENTI, DELLE CORRENTI SULLE CALAMITE, ED IPOTESI SULLA CAUSA DEL MAGNETISMO.

1511. Considerando OERSTED le due elettricità positiva e negativa come due forze opposte, riguardò il filo congiuntivo come il lor luogo d'incontro, provenendo l'una dal polo rame, e l'altra dal polo zinco dell'apparato elettromotore. Credendo poi di trovarvi esse una resistenza, ne fece risultare un conflitto che le sottopone ad una nuova specie di azione. Reso quindi spirale da sinistra a destra il loro moto rettilineo, agiscono esse sull'ago magnetico in modo che l'elettricità positiva repella il polo australe ed attragga il boreale, ed all'opposto pratici la negativa (1). Con questa ipotesi spiegò il dotto autore la proprietà del filo congiuntivo, di esercitare da un lato l'influenza boreale e dall'altro l'australe (§. 1499), e cercò di render conto del magnetismo terrestre.

1512. Fu questa ipotesi ammessa da qualche Fisico Italiano, e specialmente dal Professore BACCELLI. Esponendo egli varii ingegnosi esperimenti istituiti per assegnare la causa del fenomeno, suppose che due opposte correnti elettriche partendo dai poli dell'appa-

(1) *Consideration sur l'électro-magnétisme par J. C. OERSTED — Bibl. Univ. Sept. 1821. p. 3.*

rato elettromotore insieme s'attortigliano obbliquamente scorrendo intorno al filo congiuntivo (1).

1513. Ben diversamente opinò AMPÈRE. Riguardò egli come elettrici i fenomeni magnetici. Astretto lo elettricismo a ravvolgersi in curve circolari intorno a ciascuna particella d'ogni magnete e perpendicolarmente all'asse de' suoi due poli, le comunica i caratteri magnetici; come le correnti elettriche giranti dall'est all'ovest intorno all'asse della terra producono i fenomeni del magnetismo terrestre. Contestata questa ipotesi dagli esperimenti e dimostrata col calcolo, si è preferita ad ogn'altra. Omettendo l'analisi delle formule ottenute dall'autore, e l'esame degli importanti lavori di BIOT, SAVART, POUILLET, BOISGIRAUD, SAVARY, e di altri illustri Fisici per la dimostrazione della teoria elettro-magnetica, ci atterremo alla parte sperimentale (2).

1514. Fondamento di questa teoria è il seguente fatto. Posti a convenevol distanza ed in direzioni pres-

(1) *I fenomeni elettro-magnetici a due leggi ridotti. Ragionamento* di LIBERATO BACCHELLI Professore di Fisica—Modena 1821.

(2) Per convincersi che l'ipotesi ben si presta al rigor del calcolo, consultar si possono le seguenti opere dello stesso AMPÈRE: *Recueil d'observations electro-dynamiques*, Paris 1822 — *Théorie des phénomènes electro-dynamiques uniquement déduite de l'expérience*, Paris 1826 — *Memoire sur l'action mutuelle d'un conducteur voltaïque et d'un aimant, présenté à la Seance du 28 oct. 1826*, Bruxelles; ed il *Trattato di Elettricità dinamica* di S. F. DEMONFERRAND, tradotto e corredato di erudite note dal Dottor SILVESTRO GERARDI, Bologna 1824.

sochè parallele, due conduttori o due parti d'un conduttore voltaico, l'una fissa e l'altra mobile; è questa da quella attratta o respinta, secondochè l'elettrica corrente è diretta nel medesimo senso od in senso opposto in queste due porzioni. Dovendosi, per verificare il fatto, render mobile una parte del filo metallico comunicante coi due poli d'un apparato elettromotore senza interromperne la continuità, vi provvede AMPÈRE con ingegnosi apparati (1). Rimpiazzati però questi da più semplici congegni dal Professore BARLOCCI, ci avvaleremo di questi in pruova della teoria (2).

1515. S'impiega il seguente apparato per conoscere l'azione delle correnti elettriche continue, dirette nello stesso senso o nell'opposto. Due colonne CD di metallo, sorgenti sul piano di legno AB (Tav. 49 fig. 3) sostengono le piccole capsule di rame *a*, *b*, ripiene di mercurio e destinate a contenere le punte del rettangolo mobile di filo di rame *s r n o*. Il sottoposto rettangolo fisso di legno *t f h m* è circondato da più giri di striscia di rame ricoperta esattamente di seta per isolare ed impedire la comunicazione elettrica tra le sue diverse parti, che per la circumvoluzione vengono in contatto, menochè ne' due estremi, che restano nudi e liberi per poter comunicare colle parti dell'apparato, da cui proviene e verso cui va l'elettrica corrente. Le cavità emisferiche *c*, *e*, *g*, *d*, destinate a mettere in comunicazione le diverse parti dell'apparato, son ripiene di mercurio.

(1) *Description d'un appareil electro-dynamique construit par M. AMPÈRE*, Paris 1824.

(2) *Saggio di elettro-magnetismo* ec, Roma 1826.

Servendo la pallina metallica x di contrapeso al rettangolo mobile, è girevole nel cannello v fisso sul regolo di legno so , che completa il rettangolo. Immergendosi il filo di rame derivante dal polo positivo dell'apparato elettromotore nella cavità d , ed il filo derivante dal negativo nella cavità e (1); la corrente messa in circolazione sale per la colonna D in b , discende per $o n$, scorre per $n r s a C$, giunge nella cavità c , quindi in g per mezzo del filo comunicante cug ; e girando pel rettangolo nella direzione $m h f t$ giunge in e , d'onde versasi nel polo negativo. Dirigendosi in tal caso nello stesso senso le due correnti, quella cioè del filo mobile nr , e l'altra del fisso hf , come l'indica la direzione delle frecce, vi sarà attrazione, onde il filo mobile orizzontale resterà aderente ad hf . Invertendosi però la direzione di una di queste correnti col non far comunicare la cavità c colla g , ma colla e , col trasportar quindi il reoforo negativo da e in g ; si muoverà la corrente nel rettangolo fisso inversamente, cioè da f verso h . Opponendosi quindi la sua direzione a quella da n in r che ha nel filo mobile, vi sarà tra queste due parti di filo una decisa ripulsione. L'attrazione e ripulsione delle correnti può anche meglio comprovarsi con un'altro apparato, modificazione del primo. Tuffate le due punte d'acciajo a, c (Tav. 18 fig. 19) del doppio rettangolo mobile ne' vasetti corrispondenti alle due colonne, può esso girare sì dall'uno che dall'altro lato intorno al suo asse; ed in qualunque posizione angolare si fissi riguar-

(1) Questo parti di filo denominansi da AMPÈRE *reofori*, ossia *porta-correnti*.

do al lato pq del rettangolo fisso, facendo circolar per esso l'elettrica corrente, concepirà un moto di rivoluzione, finchè si fermi in tal posizione che il lato gf sia parallelo al pq del rettangolo, e si diriga in questi due lati la corrente nello stesso senso. Facendo così comunicare la cavità n col polo positivo e la o col negativo, circolerà la corrente elettrica da n in $abcdifghl$, indi da c in mr , e poi pel rettangolo fisso da q in p , e sortendo da o entrerà nel polo negativo; onde vi sarebbe in tal caso attrazione tra fg e pq . Invertendo però nell'uno o nell'altro rettangolo la direzione della corrente, cambiandone, cioè, opportunamente le comunicazioni, vi sarà ripulsione, dirigendosi le correnti in senso inverso.

4516. Dirette verticalmente le correnti, si ottengono gli stessi effetti, dando all'apparato la seguente disposizione. Collocate le punte dell'apparato mobile A (Tav. 48 fig. 20) nelle due capsule a, c , si fanno comunicare pei due fili ricurvi $adfm, cgvn$ le capsule superiori a, c , colle concavità inferiori m, n . Collocandosi quindi in m il reosforo positivo ed in n il negativo, la corrente essendo discendente in vn e po , darà luogo all'attrazione. S'invertirà poi l'ordine delle correnti, immergendo nel vasetto a l'estremo superiore cg del filo del conduttore fisso, e nel vasetto c quello del filo fisso ad , onde l'attrazione si cambierà in ripulsione. Gli stessi risultati si otterrebbero sostituendo ai conduttori fissi rettilinei i sinuosi come CD . Arbitraria essendo in fatti la direzione della linea sinuosa, può rimpiazzarsi con elementi rettilinei, sostituendo ad ogni piccola parte del conduttore due rette ad

angolo qualunque secondo il principio statico della composizione delle forze. Lo stesso anche s'avvera nella scambievole inclinazione delle correnti. Dirigendosi esse nello stesso senso, tendendo, cioè, colle loro direzioni verso lo stesso angolo, od allontanandosi, vi sarà attrazione; e vi sarà ripulsione se approssimandosi l'una al vertice dell'angolo, l'altra se ne discosta.

1517. Le differenze di questi fenomeni da quelli delle ordinarie attrazioni e ripulsioni elettriche indussero AMPÈRE a chiamare *fenomeni elettro-statici* tutti gli effetti dell'elettricità resa stazionaria ne' corpi dall'equilibrio tra la sua forza espansiva e la resistenza dei corpi idioelettrici; e *fenomeni elettro-dinamici* gli effetti dell'elettricità messa in moto da un continuo sistema di conduttori. Le attrazioni poi e ripulsioni tra i fili mobili de' circuiti, sui quali la corrente elettrica trascorre, si riguardano meglio come apparenti che come reali, per render conto del fenomeno. Le attribuisce infatti AMPÈRE alla reazione del fluido elettrico dell'ambiente urtato dall'elettricità, che trascorrendo pei fili tenta spingerlo e trasportarlo nella sua direzione: reazione, che resa più forte dall'azione opposta delle correnti, separa od avvicina i fili quando seguono le correnti la contraria o la stessa direzione. Non molto differisce da questa l'ipotesi del dotto fisico Italiano Cavalier LEOPOLDO NOBILI (1). Ammettendo egli che ogni corrente elettrica propagandosi per un filo conduttore seco trasporti il fluido elettrico dell'ambiente, attri-

(1) *Questioni sul magnetismo*, Modena 1824.

buisce a due correnti dirette nello stesso senso per fili conduttori una diradazione di fluido nel mezzo ; d'onde il loro ravvicinamento, e la loro riunione per un impulso preponderante agli esterni lati degli stessi fili ; ed all'opposto la ripulsione per un ingorgamento di fluido tra di essi, dirigendosi per gli stessi le due correnti in senso contrario , il che l'obbliga a separarsi.

1518. La scambievole azione delle correnti angolari dette *indefinite* e *terminate* (1) produce i moti continui di rotazione o di un filo mobile intorno ad un cilindro di acciaio calamitato , come osservò la prima volta FARADAY, o di un conduttore circolare intorno al suo centro , esposto che sia all'azione di una corrente elettrica rettilinea o circolare , come sperimentò AMPÈRE nel seguente modo. Il recipiente circolare di legno AB (Tav. 49 fig. 4) ne contiene un altro di rame della stessa forma , che ha nel mezzo un foro circoscritto da una lamina circolare di rame , nel quale recipiente metallico si mette dell'acqua acidolata. Passa pel foro una verga di metallo terminata in un vasettino pieno di mercurio , e sostenente un cerchio o corona di rame , rappresentato separatamente da GD , la di cui punta *g* immergendosi nel mercurio della capsula può concepire un moto di rotazione intorno alla verga. Facendo comunicare il reoforo positivo dell'apparato elettromotore colla cavità *f*, ed il negativo con *d* ; la corrente

(1) *Correnti terminate* diconsi quelle che non si prolungano al di là del vertice dell'angolo formato dalle direzioni delle correnti , ed *indefinite* quelle che seguendo la medesima retta , al di là si prolungano.

elettrica scorrendo lungo l'asse fg , giunta in g discende per le due braccia nella corona di rame immersa nell'acqua acidola, comunica per mezzo dell'acqua col recipiente di rame, passa alla cavità c , indi in e , e scorrendo per ba si reca in d , d'onde si versa nel polo negativo. Prende tosto la corona di rame un moto di rotazione continua, girando in senso inverso della direzione della corrente rettilinea ba .

1519. È facile render conto di questo moto rotatorio cogli esposti principii: supponendo infatti AB (Tav. 19 fig. 5) il conduttore fisso, e posti nel piano del conduttore mobile i punti a, a', a'', a''' . Stabilita la comunicazione coi reofori nel modo indicato, e giunta la corrente in C , si diffonde dal centro alla circonferenza, onde in qualunque posizione siano i detti punti, la corrente del conduttore mobile sarà parallela, inclinata, o perpendicolare a quella del fisso; e scorrendo in una direzione lungo uno de' due raggi, l'avrà contraria nell'opposto. Supposti dunque paralleli al conduttore fisso i raggi conduttori Ca, Ca'' ; dal lato Ca , essendo la corrente in senso inverso di quella di AB , vi sarà ripulsione, ed il punto a tenderà ad allontanarsi da AB ; ed al contrario dal lato Ca'' , essendo le correnti Ca'', AB nello stesso senso, vi sarà attrazione. Quindi il punto a'' si recherà verso AB ; e tendendo queste due azioni allo stesso effetto, girar dovrà il conduttore mobile sul suo asse; e potrà dirsi lo stesso in tutte le altre oblique posizioni. Lo stesso avverrà anche nel caso della corrente mobile Ca perpendicolare alla rettilinea AB (Tav. 19 fig. 6). Se infatti sulla corrente fissa AB ad egual distanza dal punto a ,

più vicino alla corrente mobile , si prendano due distanze eguali aA , aB ; e da un punto qualunque G della stessa si conducano due obblique CA , CB , saranno queste eguali, e formeranno colle direzioni delle correnti angoli eguali ; onde due piccole parti della corrente indefinita situate ne' punti A , B agiscono con eguale intensità su d' una piccola parte situata in C . Ma delle due forze eguali Cb , Cc (1) esercitate dalle due piccole parti , è ripulsiva l' una , attrattiva l' altra , onde il parallelogrammo formato sulla loro direzione sarà una losanga , e la diagonale Cd , risultante delle due azioni, sarà parallela ad AB . Ed essendo pur tali le risultanti delle azioni esercitate sugli altri punti della mobile corrente Ca , tale anche sarà la risultante totale. L' azione quindi tra A e C è attrattiva , e ripulsiva tra B e C (§. 4517) ; onde la corrente mobile terminata va in senso opposto dell' indefinita AB .

4520. Il continuo moto circolare di un conduttore orizzontale può rendersi più rapido e regolare , sostituendosi al conduttore rettilineo ab (Tav. 19 fig. 4) uno circolare avente lo stesso centro del mobile. Ciò si ottiene avvolgendo in più giri intorno al treppiede circolare di legno AB , che sostiene la vasca di rame un filo anche di rame coperto di seta , che formi parte del circuito. Restando in tal caso sempre costante la distanza fra i due conduttori , n' è più diretta ed efficace la scambievole azione.

4521. Uno de' più importanti fatti osservati da Am-

(1) Si prende Cb (Tav. 19 fig. 6) sul prolungamento di $B C$ per indicare ripellente la sua azione.

PÈRE è certamente l'azione decisa del globo terrestre sulle correnti elettriche circolanti ne' conduttori mobili. Può desso comprovarsi coll'uso dell'apparato altrove descritto (§. 1515) (Tav. 19 fig. 3). Toltone infatti il rettangolo $t f h m$ indicante l'azione di due correnti rettilinee e parallele, si volge la tavola AB , che gli serve di base, in modo che il filo $n r$ del conduttore mobile sia perpendicolare al meridiano magnetico. Stabilite le dovute comunicazioni fra i due poli dell'apparato e le cavità c, d ; se la corrente che scorre pel lato $n r$ del rettangolo mobile si dirige dall'est all'ovest, il suo piano tolto alla situazione verticale s'inclina deviando verso il sud; ma se la corrente scorre dall'ovest all'est, devia il rettangolo verso il nord. È però più efficace l'azione della terra sui conduttori voltaici formanti un circuito chiuso; come il rettangolo $o b c e$ (Tav. 19 fig. 7) di filo di rame e mobile intorno all'asse AB . Ne sono frenati i fili da una sottil bacchetta di legno $f g$, fermata sul disco t in mezzo all'asse, che restando nell'esperimento in situazione orizzontale, dev'essere perpendicolare al meridiano magnetico. Facendo quindi comunicare il reoforo positivo con z , la corrente elettrica montando per $z n$ comincia a scorrere per $a b$, indi per $b c, c r e, e o, o i$, e ripiegandosi per $i r m$ lungo l'asse va a terminare per $m R$ nel polo negativo. Dirigendosi in tal caso la corrente, che passa per $b c$, dall'est all'ovest, sarà detto lato attratto verso il sud, e si fermerà il rettangolo in tale posizione da esserne il piano perpendicolare alla direzione che prenderebbe un ago d'inclinazione. Variandosi poi il giro della corrente per dirigerla nel lato $b c$

dall' ovest all' est ; l' estremo $b c$ si recherà verso il nord ; e si solleverà sino a che l' estremo opposto $o c$, ove la corrente in tal caso va dall' est all' ovest , abbassandosi si trovi nel piano perpendicolare alla direzione dell' ago d' inclinazione.

1522. Fan credere tutti questi fatti essere sulla superficie ed al di dentro del globo elettriche correnti agenti sui conduttori voltaici secondo le leggi finora scoperte , e dirette dall' est all' ovest, in piani normali all' ago d' inclinazione. Formando esse sulla terra una specie di atmosfera in moto , hanno tutte una intensità maggiore nell' equatore, talchè possonsi rappresentare con una sola corrente equatoriale.

1523. L' azione del globo sulle correnti circolanti in conduttori chiusi si prova anche col conduttore mobile di forma circolare $a b c d e$ (Tav. 19 fig. 8). Collocandolo sull' apparato indicato per dimostrare l' attrazione o ripulsione delle correnti (§. 1515) (Tav. 18 fig. 19), in modo che le due punte $a e$ (Tav. 19 fig. 8) si tuffino ne' due vasetti a, c (Tav. 18 fig. 19) ripieni di mercurio ; tolto il rettangolo inferiore $p q$, e fatta scorrere la corrente pel filo circolare $abcde$ (Tav. 19 fig. 8), prenderà esso un moto di rivoluzione sul proprio asse, e si fisserà in una direzione che il suo piano sia perpendicolare al meridiano magnetico. Sostituito infatti al conduttore circolare il rettangolare $abcdef$ (Tav. 19 fig. 9), in cui muovasi la corrente nella direzione segnata dalle frecce ; dirigendosi in tal caso le due correnti orizzontali in sensi opposti, tende l' una a farlo girare in un senso e l' altra nel contrario, onde dovrebbe essere stazionario, e tutta l' azione ri-

sulta dalle correnti verticali. La corrente ascendente del lato $d e$ si volgerà quindi verso l'ovest, e la discendente $b c$ verso l'est, e si fisserà il rettangolo in posizione da essere il lato $c d$ perpendicolare al meridiano magnetico.

1524. L'influenza della terra sulle correnti voltaiche meglio si prova coll' *anello galleggiante* di DE LA RIVE. È questo una rotella di sughero AB (Tav. 19 fig. 10) in cui infilate sono due sottili laminette, una delle quali di rame $a b c$ ripiegata in modo da abbracciare l'altra di zinco i . Agli estremi di esse, sporti fuori del sughero, sono saldati quelli di un sottile filo di rame ricoperto di seta, e piegato in più giri a cerchio del diametro di due o tre pollici. Essendo questo apparato un semplice elemento voltaico, posto a galleggiare nell'acqua acidula, vi si stabilisce la circolazione della corrente elettrica, che passando dal rame nello zinco per mezzo del filo è poi dall'acqua restituita al rame. L'apparato dopo d'aver oscillato per qualche tempo sul liquido si fisserà in posizione da essere il piano del cerchio perpendicolare al piano del meridiano magnetico: posizione in cui la corrente circolante pel filo sempre ascende all'ovest e discende all'est, come nel rettangolo mobile (§. 1523). Questo semplicissimo apparato può anche mostrare l'azione di una sbarra magnetica sulle correnti voltaiche per mezzo di attrazioni e ripulsioni, presentata che sia all'anello dall'uno o dall'altro estremo (1).

1525. Anche la sola azione del globo può produrre

(1) *Bibl. Univ.* 1821.
Fis. Vol. II.

ne' conduttori mobili un continuo moto di rotazione , come avviene tra un conduttore fisso ed un altro mobile (§. 4518) ; e come può comprovarsi collo stesso apparato. Tolta infatti la comunicazione delle cavità *c*, *e* (Tav. 49 fig. 4) per escludere dal circuito il conduttore fisso *a b* , e mettere uno de' reofori in comunicazione di *c*, e l'altro di *f*; la corona di rame immersa nell'acqua acidola acquista un moto rotatorio, men rapido però di quello ottenuto coll'azione del conduttore fisso *a b*.

4526. Esercitando il globo terrestre una sì precisa influenza sulle parti de' conduttori mobili ; per sperimentare la scambievole azione di questi, non si deve che sottrarli all'azione terrestre , renderli cioè astatici (§. 4504). Ciò si ottiene dando a questi conduttori due forme simili , in cui si muova la corrente in sensi contrarii , onde l'azione del globo su d'una di queste parti bilanciata sia da quella sull'altra. Il cireuito mobile impiegato per provare l'attrazione e ripulsione delle correnti (§. 4515) non è altrimenti costruito. Costa esso di due eguali rettangoli (Tav. 48 fig. 19), in cui diriggoni le correnti in senso opposto. Entrando infatti la corrente da *a* segue la via di *bedisgulem*; onde , qualunque sia in tal caso l'azione della terra per far girare uno dei rettangoli in un senso , esercitandosi la stessa azione in senso opposto sull'altro, si annullano queste due azioni scambievolmente. Si ha questo compenso (Tav. 48 fig. 20) anche nel conduttore mobile , che mostra l'azione delle correnti verticali (§. 4516).

4527. L'influenza del globo sui conduttori mobili

può anche accrescersi ripiegandoli in forma di elica. Agisce in tal caso ogni filo di questa colla legge delle proiezioni, come farebbero un cerchio perpendicolare all'asse del cilindro, intorno a cui è l'elica avvolta, ed una piccola corrente parallela all'asse eguale al passo dell'elica; onde agirà l'intera curva come una serie di tanti cerchi paralleli quanti sono i giri dell'elica, e come una corrente rettilinea che fosse nell'asse. Facendo dunque ritornare il filo nell'asse in senso opposto, la sua azione annulla quella di tutte le correnti eguali al passo dell'elica, restando un apparato composto di cerchi paralleli, e percorsi nello stesso senso. I cilindri *elettro dinamici* o *solenoidi* non sono altrimenti costrutti. Partendo da *a* il filo di rame (Tav. 49 fig. 41) comincia a ripiegarsi in elica da *c* sino a *d*, d'onde ritoree dirigendosi per l'asse del cilindro sino ad *e*; torna di là a r avvolgersi in spire nella stessa direzione della prima, e da *f* va a terminare in *g*. Servono le due punte *a*, *g* a sospenderlo nei vasetti *a*, *c* (Tav. 48 fig. 49) dell'apparato altrove descritto (§. 4525). Stabilite quindi le comunicazioni tra le due cavità *m*, *n*, ed i due reofori dell'apparato elettromotore, e posta la corrente in circolazione; tende ogni spira a dirigersi in modo, che le correnti, le quali scorrono per l'eliche, sieno ascendenti all'ovest e discendenti all'est; onde si rivolgerà l'estremo *d* verso il nord e l'estremo *e* verso il sud, come farebbe un ago di acciaio magnetico mobile sul suo perno.

4528. Costruendo un'altra elica non diversa dalla precedente che ne' fili *a*, *c* (Tav. 49 fig. 42), che la terminano, prolungati in *g* ed *f* per immergersi nelle

cavità o , r del precitato apparato (Tav. 18 fig. 19), onde formi anch' essa parte del circuito , si sperimenterà l' azione scambievole de' due cilindri pari a quella di due aghi magnetici l' uno sull' altro. Mettendosi infatti un' elica presso dell' altra , talchè i loro poli di diverso nome si guardino , saranno i loro cerchi paralleli e pereorsi nello stesso senso , onde si attrarranno. Se l' elica mobile intorno ai punti a , c , dell' apparato (Tav. 18 fig. 19) non potrà in tal caso obbedire pel modo di sospensione a questa forza ; l' attrazione però avrà luogo tra certi limiti , quando per esempio si presenterà l' elica fissa (Tav. 19 fig. 12) inclinata sull' asse della mobile (Tav. 19 fig. 11) , o quando restando i due assi paralleli non saranno più esattamente nel prolungamento l' un dell' altro. Guardandosi al contrario i poli dello stesso nome , pereorse le due eliche dall' elettricità in senso inverso , si respingono. Sostituendosi nell' esperimento ad uno de' due cilindri una sbarra calamitata , seguono gli stessi effetti e ne deriva la stessa azione come se un cilindro avesse agito sull' altro. I risultati di questi esperimenti sono confermati dai calcoli eseguiti colla teoria di AMPÈRE (1) , come dimostra SAVARY nella memoria sull' applicazione del calcolo a questi fenomeni. Scorrendo infine una corrente per un filo rettilineo , OERSTED ha provato che agisce su di un cilindro elettro dinamico come su di un ago magnetico (§. 1500). Sospeso infatti il cilindro elettro-dinamico nel precitato apparato (Tav. 18 fig.

(1) AMPÈRE , *Précis de la theorie des phénomènes électro-dynamiques*.

19), talechè vi corrisponda al di sotto il rettangolo $p q$, e stabilite le opportune comunicazioni coll'apparato elettromotore, prenderà l'asse del cilindro una direzione quasi perpendicolare a quella della corrente $p q$, che scorre sul rettangolo, deviando dal lato ove per la stessa azione declinerebbe un ago magnetico sostituito all'elica mobile.

1529. Non differisce un ago d'acciajo magnetico da un cilindro elettro-dinamico che in ciò. I poli del primo non restano precisamente ai due estremi, ma più presso al mezzo dell'ago, mentre quei del secondo si mantengono precisamente agli estremi. Deriva questa differenza secondo AMPÈRE dalla scambievole azione delle piccole correnti delle particelle dell'acciajo, che inclinando i piani di esse correnti sull'asse li ravvicina nel mezzo; ma può ripetersi anche da una diminuzione d'intensità delle correnti elettriche dal mezzo sino ai due estremi.

1530. Appoggiata così l'ipotesi di AMPÈRE sull'esistenza delle correnti elettriche nelle magneti e negli aghi calamitati, situate in piani normali ai loro assi; le considerò il fisico francese non come circondanti tutta la massa della calamita, ma come circolanti intorno ad ogni particella della stessa massa nella medesima direzione ed in senso perpendicolare all'asse che ne unisce i poli; e ciò per la spiegazione del fatto, che ogni più piccolo frammento distaccato da una magnete serba un magnetismo completo (§. 1455). Può dunque riguardarsi un cilindro di acciaio calamitato come circondato da molte correnti circolari, che tutte muovonsi nello stesso senso, equivalendo la loro azione ri-

sultante a quella di una corrente che si movesse in un solo circolo nello stesso senso. È applicabile questo ragionamento a tutti gli altri strati composti di correnti parziali, che possono essere anche rimpiazzati da altrettante correnti circolari chiuse e concentriche.

1531. Considerandosi come elettrici tutti i fenomeni magnetici delle calamite, il polo boreale non si distingue dall'antrale secondo AMPÈRE che pel suo diverso sito riguardo alle correnti che circondano l'asse della calamita (1). È questo sito identico a quello dei poli terrestri dello stesso nome riguardo alle correnti del globo. Or dirigendosi nella terra le correnti dall'est all'ovest; un osservatore, che avesse i piedi all'est, la testa all'ovest, e la faccia rivolta agli esterni punti del globo, sui quali la corrente deve agire, volgerebbe il dorso all'asse del globo, avendo il polo australe alla sua dritta ed il boreale alla sinistra. Lo stesso s'intende per le calamite, qualora l'osservatore situato nelle loro correnti rivolge il dorso al loro asse per guardare gli esterni punti sui quali circolano le correnti. Nelle calamite dunque e nel globo è il polo australe a dritta delle correnti or ammesse, ed il polo boreale a sinistra. Supposta nota nella calamita AB (Tav. 49 fig. 13) la direzione delle correnti, il polo A sarebbe l'australe situato alla dritta di esse, e B il boreale posto a sinistra, prendendosi le parole *dritta* e *sinistra* nel senso più determinato.

1532. Perciò su d'un ago mobile sul suo perno e

(1) *Supplément à la Chimie de THOMPSON par RIFFAULT*, Paris 1824.

fissato nel meridiano magnetico per l'azione del globo si diriggonò le correnti nella parte superiore dall' ovest all' est e nell' inferiore dall' est all' ovest ; onde rivolgesi il polo australe verso il boreale della terra ed al contrario. È ciò provato dalle osservazioni fatte sui conduttori mobili sottoposti all' azione terrestre , in cui ascende la corrente nel ramo dell' ovest e discende in quello dell' est. Presentando quindi al polo boreale B di questa calamita (Tav. 49 fig. 43) l' australe di un' altra , vi sarà attrazione, perchè le correnti relative circolano nella stessa direzione ; il che non avverrà presentando al polo boreale della prima quello della seconda , onde vi sarà ripulsione , circolando in tal caso le correnti in senso inverso.

4533. L' esistenza delle correnti elettriche circolanti intorno alla terra (§. 4522) ed agenti sugli aghi calamitati e su i cilindri elettro-dinamici con quelle stesse leggi con cui agisce il magnetismo terrestre (§. 4458 e seg.) , è provata alla evidenza dal *globo elettro-magnetico* del Prof. Cav. NOBILI (1). Così egli si esprime in un' opera pubblicata nel 1822 (2). » Niun istrumento rappresenta il magnetismo terrestre meglio di » una palla sferoidale vestita all' intorno da un filo

(1) Questo apparato porta comunemente nelle scuole il nome di *globo di BARLOW* , perchè nella *Biblioteca Universale di Ginevra* (tom. 38 p. 125) , dandosene la descrizione, si dice messo in azione nell' *Istituto di Londra* nel 26 maggio 1824 , cioè due anni dopo la pubblicazione dell' opera di NOBILI , dal Dottor BIRKBECK , il quale ne avea avuto l' idea dal Prof. BARLOW.

(2) *Sul confronto dei circuiti elettrici coi circuiti magnetici* , Modena 1822.

» metallico , che faccia i suoi giri nella direzione dei
 » paralleli, e comunichi al solito co'suoi capi alle estre-
 » mità zinco e rame di un apparato voltiano. Reca real-
 » mente piacere l' osservare come bene su questa palla
 » l' ago magnetico si diriga ai poli, e come esso tenda
 » fortemente ad inclinarsi verso la superficie , appena
 » passa dalle zone equatoriali all'e polari ; è questo
 » uno di quegli istrumenti che parlano in pari tempo
 » all' occhio ed allo spirito. Questi movimenti dell' a-
 » go sono una necessaria conseguenza delle polarità e
 » dell' equatore magnetico dei solenoidi (Tav. 25
 » fig. 1). »

1534. L' azione delle correnti elettriche , anche le
 più deboli , sugli aghi magnetici , può rendersi sensi-
 bilissima coll' ingegnoso artificio del Professore di Hal-
 la SCHWEIGGER nel suo *moltiplicatore elettro-dinamico* ,
 detto da PECLET *reometro* , e da RICHTE *galvanometro*
 o *galvanoscopio* (§. 1321). Rende efficace questo ap-
 parato l' eguale azione di tutte le parti di un filo con-
 duttore sull' ago calamitato quando trasmette una cor-
 rente. Supposta incurvata una parte di questo filo co-
 me lo è in *a b c* (Tav. 49 fig. 14); se i due rami *a b*,
bc sono in un piano verticale , in cui sia convenevol-
 mente sospeso un ago magnetico S N fra lo stesso filo,
 dev' esso ricevere un impulso doppio di quello che un
 solo de' due rami gli avrebbe impresso. Gli impulsi in-
 fatti dati all' ago dalle due parti orizzontali del filo si
 sommano, percorrendosi dalla corrente elettrica in sen-
 so inverso; ed il filo superiore e l' inferiore deviar non
 possono l' ago dai due lati opposti , che nel caso vi si
 muova l' elettricità nella stessa direzione. Aumentando-

si quindi l'effetto col numero de' giri del conduttore, si è costruito all'uopo il *moltiplicatore*. È questo un telaio di legno di forma rettangolare AB (Tav. 20 fig. 4), intorno a cui si ravvolge a più riprese un sottil filo di rame ricoperto esattamente di seta meno che nei due estremi r, z , per mettersi in comunicazione colle parti dell'apparato, da cui proviene e verso cui va l'elettrica corrente. Un ago magnetico no , sospeso nell'apparato ad un filo di bozzolo senza torsione, affidato al sostegno a , indica colle sue oscillazioni più o meno grandi su d'una scala graduata di 360° l'esistenza della corrente, e col senso di esse la direzione. Si orizzonta perfettamente lo strumento per mezzo di tre viti verticali di livellazione, e lo si garantisce dalle vicende atmosferiche con una campana di cristallo.

1535. Benchè l'effetto di una data corrente sull'ago galvanometrico aumenti col numero dei giri del filo conduttore intorno ad esso; pure per la legge di OMM ($\S$. 1356) si ha nel filo una resistenza, il di cui effetto sulla corrente è tanto maggiore, quanto più è debole la forza elettromotrice, o minore la resistenza del circuito interno. È per ciò che costruisconsi i galvanometri a filo corto e grosso, od a filo lungo e sottile; i primi atti alla valutazione delle correnti termo-elettriche, ed i secondi delle idro-elettriche. Se aumentando infatti la lunghezza del filo si ha il vantaggio di poter ripetere i giri e le azioni sull'ago, si giunge presto intanto colle sorgenti termo-elettriche ad un limite in cui si fa maggiore la perdita per l'accresciuta resistenza prodotta dall'allungamento. Questo limite all'opposto è più lontano colle sorgenti idro-elettriche

o voltiane , delle quali è molto più grande la forza elettromotrice , e quindi grande la lunghezza ridotta del circuito interno.

4536. Ostando l'azione terrestre alle deviazioni dell'ago del galvanometro per richiamarlo sempre alla direzione del meridiano magnetico, fu ottimo divisamento del Cav. LEOPOLDO NOBILI quello di sostituire nell'uso di questo istrumento agli aghi semplici gli aghi astatici (§. 4504) (1). Bastando per ciò di collocare sotto l'ago *o n* (Tav. 20 fig. 4) un' altro *n o* coi poli opposti rivolti al superiore; s'inseriscono entrambi (magnetizzati però allo stesso grado) in una sottilissima verga di legno , od in una pagliuzza sospesa al fil di seta ; o meglio si uniscono insieme ligandoli ad un sottilissimo filo di ottone , e disponendoli sempre l'uno in mezzo al telaio moltiplicatore , e l'altro sopra di esso in corrispondenza del piano graduato. Questo sistema intanto non debb' essere perfettamente astatico , altrimenti sarebbe l'ago indifferente in tutte le posizioni : e non potendo cominciarsi un esperimento se l'ago non è perfettamente parallelo coi fili del telaio , senza di questa preeauzione , in ogni esperimento dovrebbe girare lo strumento per ricondurre l'ago al voluto parallelismo. Per ciò uno degli aghi si magnetizza un poeo più dell'altro, e così con lentissime oscillazioni il sistema ritorna , cessata appena la corrente , alla sua posizione iniziale. Si determina poi la sensibilità di un galvanometro dalla deviazione che soffre colla

(1) *Gior. di Fisica di Pavia* 1825 p. 278 , 336 — *Società Ital.* T. XX p. 173 — *Bibl. Univ.* tom. 38 p. 79.

corrente termo-elettrica di una coppia di ferro e rame scaldata colla mano. Conoscendosi il numero dei giri del filo sul telaio, si può parimenti giudicare della sensibilità dello strumento dalla lentezza con cui si compie un'oscillazione dal sistema astatico.

1537. Nelle ricerche delicate fa d'uopo stabilire il rapporto fra le deviazioni dell'ago e le intensità delle correnti che le producono. Quando chiudesi il circuito l'ago bruscamente spinto da una specie di urto, si arresta per gli attriti che soffre: ritorna poi indietro, oscilla, e si fissa infine, formando un'angolo col meridiano da cui è partito; angolo, ch'è sempre minore di quello precedentemente fatto. Di questa deviazione stabile debbesi tener conto, almeno in tutti i casi in cui l'esperienza lo permette, essendovi equilibrio fra il magnetismo dell'ago e l'azione della corrente, quando l'ago è fermo.

1538. Bisogna por mente, che facendosi agire successivamente sul galvanometro varie correnti, non debbonsi prendere gli archi delle deviazioni dell'ago come proporzionali all'intensità delle correnti che le producono. A misura infatti che dalla sua posizione l'ago è rimosso, le correnti reagiscono sempre più inclinate, e si aumenta pure la distanza del maggior numero delle correnti dall'ago istesso. Si richiede quindi un'intensità elettrica maggiore onde un ago passi da 30° a 31° di quella che occorre per passare da 20° a 21° , e più da 40° ad 41° che da 0° ad 1° . Sonosi perciò stabilite delle tavole proporzionali tra le intensità delle correnti e gli archi di deviazione: lavoro è questo per la pri-

ma volta eseguito da BECQUEREL , e molto da poi studiato ed esteso da NOBILI e da PELTIER.

1539. A prevenire questo inconveniente dispone il Prof. Cav. MARIANINI i varii fili sul telaio non paralleli tra loro , ma in modo da formare col filo centrale angoli più o meno acuti ; onde cominciando l' ago a deviare dalla sua situazione , altri fili incontri nella direzione del suo asse su di esso agenti al pari del centrale o medio in principio dell' azione (1).

1540. Felicissima è stata l' idea del ch. BECQUEREL , di costruire il suo *galvanometro differenziale* , costante di un filo doppio , onde si hanno due galvanometri e quattro capi liberi (Tav. 25 fig. 2). Facendosi perciò comunicare insieme i due capi 1 e 2 che entrano riuniti , nonchè gli altri due 3 e 4 , risulta il galvanometro di un sol filo di diametro doppio di quello adoperato. Mettendo in comunicazione i capi 2 e 3 , si hanno i due capi 1 e 4 liberi , e si ha così un galvanometro , il di cui filo è lungo il doppio di quello di ognuno dei galvanometri formati dal solo filo *ac* , *bd*. Possonsi finalmente adoperare separati i due galvanometri , dirigendovi due correnti in opposta direzione. Ciò si pratica per confrontare le intensità di due correnti o la conducibilità di due mezzi per una data corrente. In quest' ultimo caso , per esempio , divisa nei due mezzi una corrente qualunque , si mandano separate le due parziali correnti nei due galvanometri in opposta direzione. La risultante deviazione misura l'ec-

(1) *Esercitazioni dell' Ateneo di Venezia* , tom. 1 p. 312.
Bibl. Univ. tom. 38 p. 127.

cesso dell' una sull' altra, e la differenza quindi di conducibilità dei due mezzi.

1541. Dopo le modificazioni a questo strumento recate dal Cav. AVOGADRO (1), e dal Prof. LEBAILLIF (2), e dopo l' invenzione del *galvanometro a torsione* di RITCHIE, che è una specie di bilancia di torsione, in cui due aghi da cucire magnetizzati, fissati in un pezzo di paglia con i poli omologhi volti in senso opposto, pendono da un filo di vetro sottilissimo (3); ha NOBILI progettato un *galvanometro comparabile* (4), si sono proposti de' *sistemi galvanoscopici* (5), ed ha costruito il Prof. MAJOCCHI un *galvanometro universale o a forza variabile* (6).

1542. L' azione di una calamita verticale su d' un conduttore verticale e mobile traversato dall' elettrica corrente produce continui moti di rotazione, osservati la prima volta da FARADAY (7) (§. 1518). Il più semplice apparato atto a provarli è un piccol tubo di vetro CD (Tav. 49 fig. 16) lungo quattro in cinque pollici, chiuso nei due estremi, ed attraversato inferior-

(1) *Mem. della R. Acc. delle Scien. di Torino* T. 27 p. 43.

(2) POUILLET, *Éléments de Physique* p. 685.

(3) *Bibl. Univ.* janvier 1831 p. 9.

(4) *Ann. de Chim. et de Phys.* t. 43 p. 146.

(5) *D' un système de galvanometres etc.* par M. BECQUEREL. — *Ann. de Chim. et de Phys.* t. 24 p. 337. — *D' un nuovo modo di conoscere le più piccole correnti ec.* Lettera del Prof. F. ORIOLO, Bologna 1824 p. 21.

(6) MAJOCCHI, *Annali ec.* Vol. 13 p. 267 Milano 1844.

(7) *On electro-magnetical motions, and the theory of magnetisme*, 7br. 1821. — *Ann. de Chim. et de Phys.* t. 18 p. 337.

mente dalla barra magnetica AB lunga due pollici e superiormente da un filo di platino EF avvolto ad anello in E. È sospeso a questo cerchietto un secondo filo I terminato in alto da un uncinetto che passa per l'anello E. La parte inferiore del tubo contiene del mercurio sino al livello DII; ed il filo I radente la superficie della calamita AB si tuffa un poco nel mercurio che ne circonda una parte. Facendo comunicare i due estremi A ed F dell'apparato coi poli di una pila sufficientemente attiva, gira il filo I intorno alla calamita AB con moto continuo ed in senso inverso delle correnti che circolando nella calamita ne producono il magnetismo.

1543. È curioso l'esperimento istituito col *cilindro girante* di MANSU, i di cui elementi sono quelli di un semplice elettromotore. Rappresentano ABCD, *a b c d* (Tav. 49 fig. 17) le sezioni verticali di due cilindri di rame molto sottile, alti circa un pollice e mezzo e saldati ad una base; ha il cilindro esterno due pollici di diametro; *c f g h* è un lievissimo cilindro di lamina di zinco; ne' punti *a b* è saldato un filo di rame *a b*, che ha in *i* una fossetta per ricevere la punta K, aderente all'altro filo di rame *c K f*, saldato al cilindro di zinco liberamente sospeso per la punta K. La base della calamita cilindrica entra in un piede che sostiene tutto l'apparato; e gira nella vaschetta esistente in N la punta *i*. Ripieno di acido nitrico o solforico diluito l'intervallo tra i cilindri di rame, i due cilindri, nei quali la corrente segue opposti sentieri, si muovono per opposte direzioni; lo zinco, come più leggiero, ruota più celcemente del rame sino a fare 120 giri per minuto.

4544. Il moto di un reoforo intorno ai poli della calamita provasi anche coll'apparato di CLARKE, detto *ruotatore elettro-magnetico*. Una calamita cilindrica *a a* (Tav. 20 fig. 8) a ferro di cavallo è sostenuta coi poli rivolti in alto da una base munita di tre viti, per metterla in perfetto livello. In mezzo alle due braccia sono fermate da viti due vaschette circolari di bosso, ripiene di mercurio, le quali non comunicando colla calamita, hanno due fori per mettere in comunicazione il mercurio coi reofori di un elemento voltiano. I due poli della magnete hanno nel vertice una piccola cavità per ricevere un perno di metallo munito di una piccola capsola a cui è metallicamente affidata una specie di gabbia *d d* anche di metallo cogli estremi acuminati. Messo un poco di mercurio nelle due capsolette, si mettono fra esse in comunicazione mediante l'asta orizzontale *c*, la quale termina in ponte da toccare il mercurio, e lasciar libero il moto alle gabbie. Ciascuna di queste poi tocca cogli estremi inferiori il mercurio della sottoposta vaschetta. Aperto appena il passaggio della corrente attraverso l'apparato, le due gabbie cominciano immantinenti a girare intorno ai corrispondenti poli, ma in opposte direzioni; e basta invertire la direzione della corrente per invertire anche il moto delle gabbie. WATKINS ha sostituito alle gabbie due fili di metallo ravvolti a spira.

4545. Se il cilindro magnetico invece di esser fisso si muovesse intorno al suo asse, circondato da un conduttore conformato ad anello, prenderebbe un moto di rotazione. L'apparato, con cui AMPÈRE ottenne questo risultato, è il seguente. Rappresenta ABCD (Tav. 20

fig. 3) una coppa di cristallo ; termina il cilindro magnetico NS inferiormente in una punta d'acciajo, riposando nella cavità di un pezzo d'agata ; per un foro praticato nel centro d'un coperchio di rame BC, passa liberamente ed è tenuta in sito la barra magnetica ; sulla sommità N della magnete vi è un sottil cilindro *ab* ripieno di mercurio , che può rimpiazzarsi col cannuolo di una penna , ed in cui s' inserisce il filo metallico Z ; un altro filo ricurvo R sostiene l' anello di metallo EF, che entrando nella coppa può abbassarvisi per farlo pescare nel mercurio esistente nella sua parte inferiore. Facendo comunicare i due fili Z , R coi poli d' una pila , comincia tosto a rotare la magnete molto velocemente sul proprio asse.

1546. I principii addotti da AMPÈRE per render conto de' continui moti risultanti dall' azione di due conduttori voltaici (§. 1519) spiegano questi fenomeni. Rappresenti il cerchio *ab* (Tav. 19 fig. 18) la proiezione del cilindro magnetico immerso nel mercurio , e *cd* il conduttore circolare fisso o l' anello che lo circonda. Stabilite tra il cilindro e l' anello le dovute comunicazioni coi poli dell' apparato voltaico , facendo scendere la corrente nell' asse del cilindro calamitato , s' irraggia essa sulla superficie del mercurio verso l' anello per sortire dal filo *r* comunicante col polo negativo. Tutte le correnti rettilinee si allontanano dunque dalle circolari di ogni particella della superficie della calamita , e (§. 1519) tendono a far girare la calamita in contrario senso delle correnti , che han luogo alla sua superficie ed al di dentro. Rappresentandosi quindi colla linea *ec* una di queste correnti irraggiate dall' asse

della calamita all'anello, attrarrà essa tutte le molecole situate dalla parte *ea*, respingendo quelle poste dal lato *eb*; e la risultante di queste due forze simultanee sarà una normale al raggio *ec* in senso contrario delle particolari correnti del cilindro. Invertite le comunicazioni coi poli per l'irraggiamento delle correnti dalla periferia dell'anello *cd* sulla superficie *ab* della barra magnetica, s'inverte anche la direzione del moto rotatorio di questa. S'intende quindi perchè restando le correnti della pila nel pristino stato e rovesciando invece la calamita, giri questa in opposta direzione. Spiega ancora questo principio il moto del conduttore metallico intorno alla calamita (§§. 1544-1542).

1547. Egualmente ammirabili sono i moti rotatorii procurati da DAVY sulla superficie del mercurio attraversato da correnti elettriche (1); facendo scendere i reofori nel fondo d'un vasettino di vetro quasi pieno di mercurio, onde passava la corrente dal reoforo positivo nel mercurio, e da questo al negativo. Ha poi lo sperimentatore osservato che non solo prendono i liquidi in tali circostanze diversi moti rotatorii, ma formano anche su d'ogni filo conduttore un cono prominente da cui partono delle onde; mentre avvicinandosi una calamita i coni divengono imbuti, e prende il liquido un rapido moto di rotazione.

1548. Tutti questi fenomeni di moto continuo e nello stesso senso ad onta degli ostacoli dell'attrito e della resistenza de' mezzi non possono provenire che dall'azione de' fluidi in movimento nei conduttori rapidamente

(1) *Annal. de Phys. et de Chim. par GAY-LUSSAC et ARAGO.*
 Fis. Vol. II.

scorsi trasportandosi dall' uno all' altro estremo della colonna voltiana ; e sempreppiu confermano l' ipotesi d' *AMPÈRE* sulla causa del magnetismo. Non potrebbero infatti ripetersi dall' azione di forze stazionarie o da una magnetizzazione trasversale , non valendo le leggi meccaniche ad ottenere il moto continuo con un numero qualunque di forze dirette verso centri fissi, e le di cui intensità siano funzioni qualunque d' una sola distanza. È per ciò che non possono ottenersi i moti rotatorii coll' azione scambicvole delle sole calamite, ma si procurano con due conduttori , o con un conduttore ed una calamita.

1549. Ripetendosi il magnetismo dalle correnti elettriche circolanti intorno ad ogni particella di una magnete , qualunque causa capace a svolgerle nel ferro , nel niccolo , e nel cobalto ; oppure se mai vi esistessero confusamente e rivolte in varii sensi , qualunque mezzo atto a riordinarle e determinarle nella stessa direzione , potrà far loro acquistare il magnetismo. È facile quindi l' intendere come una scossa elettrica passata attraverso una barra d' acciaio possa magnetizzarla ; come possa facilitarsi la magnetizzazione cingendo gli agli di fili metallici ravvolti a spira ; e come infine possano produrre magnetismo il moto rotatorio, la percussione , l' attrito , e qualunque altra azione meccanica , che scuotendo le particelle disponga le correnti che le circondano a scorrere nella stessa direzione ed in piani perpendicolari agli assi de' due poli. Lo stesso può anche accadere nella polarizzazione della luce , intendendosi polarizzato un raggio quando i mezzi rifrangenti o le superficie riflettenti hanno agito in modo

sulle molecole luminose da determinarle a rivolgere lo stesso polo dalla stessa parte dello spazio (§. 1075).

1550. Le correnti elettriche voltiane circolanti per conduttori continui si attraggono dunque dirette nello stesso senso, e si respingono quando tendono in senso opposto; l'azione del globo terrestre sulle correnti elettriche scorrenti in conduttori mobili somiglia all'azione scambievolmente di due conduttori, l'uno fisso e l'altro mobile; un cilindro elettro-dinamico in cui si muova l'elettrica corrente può somigliarsi ad un ago magnetico, producendo su questo una corrente elettrica gli effetti che produrrebbe su di un ago magnetico mobile, come nell'esperimento fondamentale di OERSTED: i fenomeni di attrazione e repulsione cagionati dalla scambievolmente azione di due calamite sono affatto analoghi a quelli prodotti dall'azione di due cilindri elettro-dinamici, percorsi dalle elettriche correnti. Dietro analogie sì ben inoltrate sembra quindi tanta certa l'esistenza di tali correnti intorno all'asse del globo ed a quelli delle calamite, che può riguardarsi come la causa più verisimile del magnetismo. Non possono infatti spiegarsi che con questa ipotesi tanto gli effetti dell'azione d'una calamita sull'altra, quanto quelli dell'azione del globo sugli aghi calamitati, come la loro inclinazione e declinazione, essendosi provato (§. 1521 e seg.), che l'azione direttrice della terra sugli aghi da bussola lungi dall'emanare dalle regioni polari, o dal centro del globo, non proviene che dalle regioni equatoriali, ove più intensi sono la luce ed il calorico.

1551. Le correnti elettriche poi circolanti intorno

all' asse della terra possono esser l' effetto di varie cause , potendosi con diversi mezzi svolgere e promuovere l' elettricità. Perciò alcuni , tra cui AMPÈRE , le ripetono da un processo voltaico agevolato dai materiali del globo riguardato all' uopo come una pila voltiana ; ed altri dalla influenza soli-lunare. Vi è chi attribuisce al moto di rotazione il magnetismo della terra , degli altri pianeti e del sole stesso (1) , attesa l' azione dei metalli rotanti sugli aghi calamitati. Massima può essere anche l' influenza de' raggi calorifici del sole sul magnetismo terrestre, per la diversa temperatura delle varie parti del globo nel periodo diurno , essendo atto questo mezzo a svolgere l' elettricità (§ 1513 e seg.) ; e facendo credere le osservazioni di CHRISTIE esser connesse colle variazioni di temperatura (2) quelle diurne dell' intensità delle forze magnetiche del nostro globo.

CAPITOLO III.

DELLE CORRENTI INDOTTE.

1552. Le correnti elettriche circolanti pe' fili conduttori metallici per l' azione degli elettromotori di VOLTA ne suscitano e promuovono delle altre ne' corpi conduttori che vi si avvicinano , facendone subir loro l' influenza, al pari dell' elettricità di tensione che elet-

(1) *Bibl. Univ.* tom. 29 ann. 1825. pag. 265.

(2) *Des effets de la temperature sur l' intensité des forces magnetiques , et de la variation diurne de l' intensité magnetique du globe terrestre ;* par S. H. CHRISTIE — *Transactions Philosophiques* par. 1. 1825. — *Bibl. Univ.* Avril 1826.

trizza ora per trasmissione ed ora per influsso. Queste correnti così eccitate diconsi *correnti indotte*, od *estracorrenti*, e secondo POUILLET *correnti temporanee*, attesa la momentanea loro durata. Il fondamento della teoria all' uopo stabilita da FARADAY (1) è il seguente:
 » I fili voltaici scorsi da una corrente elettrica hanno
 » la virtù di svolgere ed indurre delle correnti istanta-
 » nee sopra altri fili metallici. »

1553. Avvolti ad un grosso pezzo di legno 300 piedi di filo di rame ricoperto di seta, pose FARADAY tra le spire di questo 203 piedi dello stesso filo, impedendo tra le due spirali ogni contatto. Attaccata una delle spirali al galvanometro e l'altra alla pila, produsse il circuito un improvviso e lieve effetto, indicante nel filo del galvanometro una corrente contraria a quella della pila. Opposti effetti ebbe infatti nell'interruzione del circuito, e nulla nell'intervallo, benchè fosse la pila energica. Sostituita al galvanometro una spirale avvolta intorno ad un cannello di vetro, introdusse in questo un ago d'acciajo, e coll'altra spirale chiuse come prima il circuito voltiano. Tolto l'ago prima dell'interruzione del contatto colla pila, lo trovò calamitato; ed esponendo l'ago all'azione della corrente a circuito già chiuso, e togliendolo prima di aprirlo, non vi osservò magnetizzazione.

1554. Tesi su di una larga tavola parecchi piedi di filo di rame disposti a *zig-zag*, e su di un'altra un secondo filo in modo che avvicinando questo al primo, i fili

(1) *Annales de Chim. et de Physiq.* tom. 53. — *Bibl. Univ.* Mars et Avril 1831.

quasi toccansi dappertutto , divisi solo da un grosso foglio di carta. Attaccato uno de' fili al galvanometro e l'altro ad una pila , se si avvicinano , l'ago devia ; se si allontanano , devia ancora , ma in opposto senso ; se poi si fermano , riprende tantosto l'ago l'ordinaria sua direzione.

1555. Qualunque sia la forma dei due fili o conduttori che si avvicinano , i fenomeni sono costantemente gli stessi. La disposizione a spirale è la più vantaggiosa per la maggior lunghezza che può darsi ai due conduttori , e per essere favorevole a tutte le circostanze in cui quest'azione si esercita. Qualunque sia poi il corpo coibente posto fra le due spirali , non varia l'azione induttiva. Se poi tra la spirale inducente e l'indotta si mette una lamina metallica , l'effetto diminuisce.

1556. FARADAY quindi conchiuse aver luogo questa induzione in due casi , quando , cioè, il filo senza corrente si accosta parallelamente all'altro della corrente, e quando se ne discosta. Nel primo caso la corrente indotta è contraria per direzione all'induttrice, e nel secondo è nel suo senso. Cresce l'intensità del fenomeno colla rapidità del movimento , scema colla lentezza di questo , e si estingue del tutto nello stato di quiete. Il filo , nel quale scorre la corrente , e quello che ne deve soffrir l'azione , possono essere immobili , e dar anche luogo allo stesso eccitamento , facendo scomparire e ricomparire la corrente dal filo voltaico. Mentre s' introduce in questo filo una corrente , si svolge nell'altro l'opposta ; svanendo la corrente si riproduce dall'altra parte l'effetto inverso di una corrente che va

nel senso della estinta ; poichè quantunque in questi casi siano i fili immobili , verificasi pur nondimeno la condizione esposta nel primo caso , quella cioè , che il filo destinato alla induzione presentasi o sottraesi sollecitamente all' azione d' una corrente.

1557. Sperimentando PELTIER con spirali di varia lunghezza e della stessa grossezza , ed all' opposto, ha trovato che la corrente indotta si scarica per un filo molto lungo e cresce d' intensità col numero delle spirali , non altrimenti degli effetti della pila che si aumentano nel caso istesso. Se all' opposto la corrente indotta si scarica per un filo grosso e corto , la sua intensità non si aumenta col numero delle spirali , ma colla grossezza del filo , colla quantità , cioè , di materia su cui l' induzione si esercita.

1558. Il Professore ZANTEDESCHI ha ottenuto il primo dalle correnti termo-elettriche gli effetti della induzione. Quantunque i suoi primi esperimenti avessero dato all' uopo risultati non dubbii (1), come ne accerta lo stesso celebre BECQUEREL (2) , pure volle istituirne dei nuovi che descrive in una lettera diretta alla Sezione di Fisica del Congresso Scientifico Italiano in Torino. » Presi due fili di rame , egli dice , del diametro » di un millimetro bene vestiti di seta e della lunghezza » di ciascuno di cinquanta metri , e disposti a mutuo » contatto , li avvolsi simultaneamente formando una

(1) *Ricerche sul termo-elettricismo dinamico* ec. Milano 1838 p. 18 — *Bibl. Univ.* T. XV p. 190 — *Institut.* n. 244 , 30 Aout 1838.

(2) *Traité experimental de l' électricité , et du magnetisme*, T. V. P. II p. 106 , Paris 1840.

» spirale circolare cava, il cui diametro era di tre cen-
 » timetri e la lunghezza di dieci prossimamente. Ho
 » compiuto il circolo coi capi di uno di questi fili con
 » un sensibilissimo galvanoscopio astatico ; e coi capi
 » del secondo filo ho chiuso il circuito coi poli di una
 » pila termo-elettrica costrutta in Londra , la quale
 » dava la scintilla e si prestava ai principali fenomeni
 » elettro-magnetici. All'atto che io compiva il circolo
 » colla pila termo-elettrica , l'ago si sviava di 25°
 » dalla sua posizione , e il movimento indicava che la
 » corrente indotta era diretta in senso opposto a quello
 » dell'inducente. E all'interrompersi del circolo colla
 » pila termo-elettrica , l'ago si sviava dal lato oppo-
 » sto , e il suo movimento indicava che la corrente in-
 » dotta si dirigeva nel medesimo senso dell'inducente.
 » A mano a mano che l'azione termica s'indeboliva ,
 » l'ago segnava deviazioni minori (1).» Il Dottor DO-
 VE colle stesse correnti termo-elettriche avvalorate da
 una calamita elettro-magnetica , è giunto ad avere le
 scosse.

1559. Credevasi comunemente dai Fisici non potersi
 ottenere dall'elettricità di frizione correnti indotte ,
 perchè attesa la quasi simultaneità del principio e della
 fine della corrente originaria, detta *istantanea* , le due
 opposte correnti d'induzione doveano distruggersi in-
 teramente , o tanto da non potersene avere traccia sen-
 sibile anche ai più delicati strumenti. Nel 1834 MAS-
 SON Professore di Fisica nel Collegio di Caen, magne-
 tizzò gli aghi colla corrente indotta dalla elettricità di

(1) *Ann. delle Scienze del R. Lombardo-Veneto* T. XI an. 1841.

atrito. Non avendo avuto però questo nuovo esperimento quella pubblicità che meritava, i Fisici non si ricordettero che in seguito dei decisivi esperimenti istituiti nel 1838 dall' illustre Professore di Modena Cav. **MARIANINI**. Essendo stato poi questo argomento studiato principalmente da **HENRY**, **RIESS**, **MATTEUCCI**, **ZANTEDESCHI**, ed **ABRIA**, ha ricevuto per le cure di questi benemeriti della scienza maggiore incremento.

1560. La corrente d' induzione prodotta dalla scarica della boccia di Leida detta da **MARIANINI** *leido-elettrica*, e da **MATTEUCCI** *elettro-statica*, si ottiene per mezzo delle solite spirali. Si colloca all' uopo su d' una spirale piana rivestita di seta un' altra simile, i di cui estremi siano congiunti ad un galvanometro, interponendovi una lamina di vetro per impedire fra esse la scarica diretta. Si fa quindi passare per la prima spirale la scarica di una batteria, mettendone in comunicazione i due capi; l' uno coll' armatura esterna, coll' interna l' altro. Nell' atto della scarica deviando l' ago immediatamente di un numero di gradi corrispondenti al numero delle bocce componenti la batteria, mostra che la corrente indotta è diretta nello stesso senso della scarica della batteria. Si ottiene poi la scintilla d' induzione quando invece di congiungere i capi della spirale col galvanometro, si tengono fra essi a poca distanza (Tav. 25 fig. 3). La scarica di una sola bottiglia produce una scintilla così grande da perforare la carta. Avvalendosi il Professore **MATTEUCCI** di questo effetto per conoscere il senso della corrente o scarica indotta (§. 4278), ha osservato esser dessa in tal caso costantemente diretta in

senso contrario della scarica inducente. Tenendosi colle mani gli estremi della spirale indotta, provasi nell'atto della scarica una forte commozione. Chindendo questa spirale con un' altra piccola spirale cilindrica , ed introducendo in questa un ago di acciajo , od un filo di ferro dolce , si magnetizza l' uno permanentemente , e l' altro nel tempo in cui passa la corrente. Ponendosi finalmente fra le due spirali una lamina di metallo alquanto grossa , gli effetti di questa induzione s' indeboliscono notabilmente , o cessano del tutto. L' interposizione all' opposto di una lamina coibente per nulla influisce sull' andamento di questi fenomeni. Aggiungendosi infine altre spirali , talchè la corrente indotta dalla scarica nella prima spirale, circolando in un' altra spirale , agir possa su d' una terza spirale e svilnpparvi una corrente indotta , si ha una corrente indotta d' indotta ; e ripetendo queste disposizioni con altre simili coppie di spirali , si può ottenere una terza, ed anche una quarta corrente d' induzione elettro-statica.

1561. Se le correnti elettriche poste in circolazione dagli apparati elettromotori possono svolgere e permanentemente suscitare il magnetismo (§. 1507 e seg.), lo debbono produrre anche per forza induttiva. Tanto si è provato da STURGEON di Woolwich , trasformando con nuovo e facile esperimento un pezzo di ferro dolce in poderosissima calamita , detta *elettro-magnete* , *calamita voltaica*, o *temporaria*, per acquistare o perdere le sue proprietà colla circolazione od interruzione della corrente elettrica. È questo apparato un pezzo di ferro dolce ADB (Tav. 20 fig. 4) curvo come un ferro di cavallo. Un lungo e sottil filo

di rame coperto di seta , ravvolgesi a più riprese sulle due braccia A e B. Messe in comunicazione degli estremi r , z , della spirale le lastre di un elettromotore di poche coppie ed anche di una sola , nell' apertura del circuito diviene il ferro una calamita potente in modo da applicarsi all' ancora C il peso di 2000 libbre senza poternelo distaccare. All' aumento dell' effetto contribuiscono più dell' ampiezza delle piastre della pila la grandezza del ferro ed il numero delle spire del filo conduttore. Interrotto il circuito , l' elettro-magnete lascia cadere il peso , e chiuso lo riprende di bel nuovo. Ritene peraltro talora una parte del peso qualche tempo dopo interrotto il circuito. Rovesciansi i poli nell' istante , in cui i capi del filo conduttore cambiano di contatto col rame e collo zinco.

4562. La gran forza magnetica, che le correnti elettriche sviluppar possono nel ferro dolce , si è cercato di sostituire ad ogni altro potere meccanico ; e la innocuità , la continuità , e l' istantaneità che contraddistinguono questo nuovo agente , richiamano la più alta considerazione dei Tecnologi per meglio apprezzarne quei vantaggi , che la vita sociale potrà ritrarne. Il primo ad avere questa felice idea è stato il Professore DAL NEGRO, tolto non ha guari alla scienza. Presentò egli all' uopo nel 1831 i suoi modelli all' I. R. Accademia di Scienze , Lettere ed Arti di Padova. Avvertito il Professore Cav. BORRO , come egli stesso asserisce , dalla Gazzetta Piemontese , che il Professore JACOBI di Koenigsberga era giunto ad ottenere il moto continuo coll' uso della forza elettro-magnetica , si affrettò di pubblicare i risultati degli esperimenti all' og-

getto da lui istituiti. I costruttori quindi di simili modelli si moltiplicarono negli Stati Uniti di America, in Inghilterra, in Germania, ed in Francia. Noto è il modello di DAVENPORT, ed il motore elettro-magnetico di PATTERSON costrutti negli Stati Uniti; si è parlato del saggio di macchina elettro-magnetica di TAYLOR, e della locomotiva di DAVIDSON sperimentata non ha guari in Inghilterra; e sono conosciuti gli sforzi ed i premi promessi a WAGNER ed a STÜÖRER in Germania per la applicazione in grande della forza elettro-magnetica alla meccanica. Nell'impossibilità di dettagliare i meccanismi ideati da questi benemeriti della scienza, diremo che l'apparecchio di JACOBI misurato con una specie di dinamometro di PRONY, produceva un effetto valutabile al peso di 40 a 42 libbre sollevato all'altezza di un piede per secondo. Il maggiore esperimento fatto colla macchina elettro-magnetica impiegata come motore è quello di JACOBI. Consiste esso in un battello mosso sulla Neva, carico di molte persone, con una velocità di 5000 metri per ora.

1563. Il lodato Prof. BOTTO determinando il lavoro meccanico d'una macchina elettro-magnetica, ha trovato che 67 chilogrammi di zinco impiegati a generare la corrente producono in 24 ore un effetto dinamico espresso da 21735044 chilogrammi alzati all'altezza di un metro. Da questo risultato ben si vede che nè dal lato della velocità, nè da quello dell'economia, non si hanno ancora risultati favorevoli a promuovere la sostituzione della forza elettro-magnetica al vapore (1).

(1) MAJOCCHI *Annali*, T. VIII p. 163 e 205.

Tuttavolta non si può ancora disperare di un felice risultato.

1564. Conoscendo l'Alemanno REISER l'immensa velocità dell'elettrico, pubblicò nel 1794 un compiuto piano di corrispondenza telegrafica per mezzo dell'elettricità prodotta dalla macchina, unico strumento allora conosciuto. SOEMMERING immaginò nel 1809 di avvalersi all'uopo dei prodotti gassosi della elettrolizzazione dell'acqua prodotta dalla pila voltaica. I nuovi fenomeni però da OERSTED ottenuti, suggerirono un nuovo telegrafo più sicuro, talchè la deviazione dell'ago fu tosto proposta da AMPÈRE come mezzo di comunicazione; e su tal principio il Barone SCILLING costruì nel 1833 in Pietroburgo un telegrafo elettrico. Nel 1837 poi MORSE Professore nell'Università di New-York pubblicò la descrizione di un *telegrafo elettro-magnetico*; altri poi ne pubblicarono nel 1838 MAGGRINI in Italia, e STEINHEIL a Monaco. Stabili MAGGRINI a Venezia una comunicazione tra il Gabinetto di Fisica dell'I. R. Liceo e la stanza del Provveditore dell'I. R. Convitto. Contemporaneamente propose AMVOR alla R. Accademia delle Scienze di Parigi un nuovo telegrafo, impiegando un solo ago ed una corrente, invece di molti aghi e molte correnti, com'erasi precedentemente praticato: propose ancora d'inverniciare e seppellire in terra i fili conduttori invece di tenerli sospesi a dei sostegni. Movendosi l'ago su di un quadrante alfabetico, compone le parole indicando le lettere che le formano. Il telegrafo elettro-magnetico di maggior voga è quello inventato dal Prof. WHEATSTONE, di cui non si dà la descrizione e la figura, non ba-

stando entrambe a darne una chiara intelligenza. Molti dotti si sono accinti a perfezionarlo per farne miglior uso, e già negli Stati Uniti, nell'Inghilterra, ed in Pietroburgo sonosi stabilite con questo mezzo estese corrispondenze telegrafiche; onde può quasi accertarsi che fra poco si vedranno riunite le prime Capitali del mondo culto dalla nuova telegrafia elettro-magnetica. L'istantaneità con cui i discorsi si trasmettono in qualunque ora del giorno, indipendentemente da qualunque stato atmosferico, ed attraverso di monti inaccessibili o di vastissimi mari, è il più essenziale requisito che rende preferibile ad ogni altro questo mezzo di comunicazione. Sugli stessi principii BAIN di Edimburgo ha inventato l'*orologio elettrico*, ed ha proposto di farne l'applicazione agli orologi di Edimburgo e di Glascovia, in guisa da metterli in moto con un solo e medesimo impulso centrale, ed indicare il tempo esatto nello stesso istante a 74 chilometri di distanza. Si ha quindi così un nuovo argomento per meglio apprezzare le fisiche ricerche, le quali se sembrano talora accademici tentativi, non vanno però sempre disgiunti da utili risultati.

1565. Come le correnti elettriche eccitano il magnetismo, agendo le calamite sui conduttori vi promuovono ed inducono delle correnti elettriche. L'Abbate FRANCESCO ZANTEDESCHI Professore in Venezia si era assicurato fin dal 1829 coi proprii esperimenti di potersi eccitare dalla calamita correnti valutabili col galvanometro (1). Costa l'apparato all'uopo impiegato di una po-

(1) *Bibl. Ital.* Marzo 1829—*Bibl. Univ.* Janv. 1830 p. 29.

derosa calamita NS (Tav. 20 fig. 5) a ferro di cavallo, e di un pezzo di ferro dolce abc , anche piegato nello stesso modo, alle di cui braccia a, b è avvolto a più giri un filo metallico, talchè nel passaggio della corrente diventino esse poli contrarii. Si uniscono gli estremi del filo ad una conveniente distanza dal ferro e dalla calamita, ed un semplice ago calamitato subisce l'azione del circuito chiuso. Accostandosi destramente la calamità NS alle braccia a, b , ed allontanandose ne, l'ago annunzia tosto una corrente inversa o diretta. Chiama FARADAY questa *induzione magneto-elettrica* per distinguerla dalla così detta *volta-elettrica*, da quella cioè eccitata dalle voltiane correnti.

1566. Ottenuta da FARADAY la scintilla elettrica coll'azione induttiva del magnetismo, i dotti Fisici di Firenze NOBILI ed ANTINORI ripeterono l'esperimento col più lusinghiero successo, appoggiandolo e sviluppandolo colle loro osservazioni. Immaginarono all'uopo un apparato detto *calamita elettrica*, in cui la corrente è prodotta dall'attacco e distacco dell'ancora magneto-elettrica dai poli di una poderosa calamita artificiale. Inventò poi il lodato Cav. NOBILI un'altro congegno più poderoso del precedente, e lo chiamò *calamite coniugate*, perchè composto di due calamite a ferro di cavallo, poste l'una incontro all'altra, e fra le quali oscilla l'ancora munita della spirale elettro-dinamica (1). Profittando il Prof. DAL NEGRO di Padova della singolare azione delle magneti sull'eliche metalliche per lo svolgimento del-

(1) *Memorie ed osservazioni editte ed inedite del Cav. LEOPOLDO NOBILI*, Firenze 1834.

le correnti elettriche, costruì un nuovo apparecchio in rimpiazzo di una batteria elettrica. Pose egli su di un tavolino quattro coppie di spirali cogli assi orizzontali, talchè i perimetri dei cilindri di cartone, a cui erano avvolte, avessero per comun tangente la stessa orizzontale, parallela ad un lato del tavolino. Su di un'altro tavolino al primo contiguo, ma non con esso in contatto, collocò un carretto, cioè una tavola rettangolare, munita di quattro ruote, a cui sovrappose quattro calamite disposte in modo che movendosi orizzontalmente i poli di ciascuna contro le coppie delle spirali s'infilassero per l'asse. Or mosso il carro, incapace di altro moto che di quello di va e vieni, le braccia delle calamite infilano ad un tempo tutte le spirali, e si possono far uscire e rientrare colla velocità che si vuole. Per dar poi la batteria una corrente elettrica eguale alla somma di tutte le correnti eccitate dalle coppie, tutte le spirali piegate a dritta debbono comunicare in modo che risultino come formate da un solo filo metallico. Praticato lo stesso per tutte le spirali piegate a sinistra, si fanno comunicare i due capi di queste eliche con un galvanometro posto ad una data distanza per non fargli sentire l'azione della magnete. Benchè non siano queste correnti che istantanee, possono nondimeno eccitarsi con tanta velocità da esser quasi continue. Proseguendo PIRXII queste nuove ricerche v'impiegò il suo apparecchio, il quale è pure una calamita elettrica, girante su d'una specie di torno ad aria in corrispondenza dell'ancora, cioè del pezzo di ferro dolce piegato a ferro di cavallo, e portante avviluppate due spirali elettrico-dinamiche. Riuscendo incomodo questo meccanismo per la cala-

mita che devesi far girare, la quale dovendo esser molto possente, debb'essere quindi molto grande e pesante; venne bentosto proposta da SAXTON, NEWMAN, e CLARKE una per quanto semplice altrettanto utile modificazione, quella, cioè, di rendere immobile la calamita, e di far che giri invece intorno ai suoi poli l'ancora, su cui sono avvolte le spirali che debbono ricevere la corrente indotta. Costa l'apparato di NEWMAN di una poderosa calamita a ferro di cavallo, orizzontalmente fissata su di un piano: è fra le sue braccia un asse, a cui per mezzo di una ruota e di un rocchetto può darsi un celere moto di rotazione: ad un estremo di quest' asse è stabilmente fissata l'ancora, la quale si compone di due cilindri di ferro dolce, circondati a molti giri da un lungo filo di rame ricoperto di seta: congiunti metallicamente gli estremi di queste spirali con due appendici site nel prolungamento dell'asse istesso, con una rotella, cioè, e con una lancetta, di cui pesca la prima continuamente, e la seconda alternativamente nel mercurio contenuto in una sottoposta vaschetta; si ha il vantaggio di avere una corrente continua e diretta nello stesso senso.

1567. L'apparato però di più recente costruzione, e ad ogn'altro preferibile, è la *macchina magneto-elettrica* di CLARKE. Una calamita a ferro di cavallo A (Tav. 20 fig. 6), composta di sei verghe di acciaio, è verticalmente sostenuta da quattro viti sulla tavola di appoggio B; ed il ritegno di metallo C ne assicura la stabilità. Due cilindri di ferro dolce K, D, circondato ognuno da un lungo filo di rame isolato, per funzionare da calamita temporaria (1), sono riuniti dalla verga di rame KD.

(1) È questa macchina munita di due ancore, l'una per gli
Fis. Vol. II.

È questa verga congiunta ad un'asse di rotazione munito di rocchetto, a cui dandosi moto per mezzo della ruota E, l'ancora velocemente gira innanzi ai poli della calamita A. Ruotando l'ancora, il ferro dolce si magnetizza; e passando ogni cilindro in ogni mezza rivoluzione dell'ancora innanzi ad ambi i poli della calamita, si magnetizza prima in un senso, poi in senso opposto. Il magnetizzamento è massimo quando i due estremi dell'ancora sono in perfetta corrispondenza coi poli della calamita, ed è nullo quando la posizione dell'ancora è normale a quella della calamita. Il magnetismo quindi del ferro oscilla così fra due massimi di polarità inversa in ogni mezza rivoluzione. La corrente indotta generata nel filo di rame, che è sempre contraria alla prodotta nel ferro (§. 4554), deve cangiar quindi direzione ad ogni mezza rivoluzione dell'ancora, ad ogni passaggio cioè dei cilindri dell'ancora presso i poli. Tanto si verifica congiungendo gli estremi della spirale con un galvanometro. Richiedendosi però che questa corrente elettro-magnetica sia continua e sempre diretta nello stesso senso, ogni capo di un filo è congiunto con uno dell'altro; e mentre una coppia è metallicamente congiunta ad un cilindro di metallo prolungamento dell'asse, aderisce l'altra coppia con una specie di ghiera, all'asse concentrica, ma tra essi isolati; onde son l'asse e la ghiera i due poli di questa nuova pila. È l'asse più lungo della ghie-

esperimenti di quantità, l'altra per quelli d'intensità. La prima ha la spirale composta di filo grosso e corto, la seconda di filo sottile e lungo; dippiù ha questa i cilindri di ferro più piccoli della precedente.

ra per fissarvi stabilmente con vite un eccentrico per interrompere il circuito. Quest'appendice dell'ancora dice-
si *commutatore*. Dei fili metallici finalmente mettono in comunicazione la ghiera coll'eccentrico per mezzo di due vaschette metalliche ripiene di mercurio , e site sul piano del sostegno (Tav. 20 fig. 6 e 7).

1568. Per meglio intendere in qual modo queste correnti indotte, benchè di loro natura istantanee, divengono in qualche modo continue , dinotino a e b i poli australe e boreale della calamita (Tav. 25 fig. 4), innanzi a cui sia una calamita temporaria, ossia l'ancora , i di cui estremi sieno espressi da m ed n , e da c l'asse verticale intorno al quale liberamente gira. Si considerino i fenomeni che han luogo nel braccio m mentre descrive una intera circonferenza, partendo dalla giacitura m , e passando successivamente in m' ed n . Da m' in m si eccita nel ferro dolce una corrente inversa di quella del polo australe a della calamita, la quale diviene diretta da m in n' ; da n' ad n la corrente che si eccita è inversa di quella del polo boreale b , e quindi la stessa che in n' , la quale poi da n ad m debb' essere diretta con b ed inversa con a . Ne segue che in tutta la semicirconferenza compresa tra m ed n passando per n' , la corrente del filo del braccio m procede per un verso, mentre in tutta la semicirconferenza compresa tra m ed n passando per m' procede in senso opposto. Quanto si è detto del braccio m , ha luogo parimenti pel braccio n . Per aversi dunque una corrente continua, od approssimativamente tale, basta dare alla calamita temporaria un rapidissimo moto di rotazione, e raccogliere la sola corrente che si genera nel passaggio di uno de' suoi bracci per una delle

semicirconferenze comprese tra m ed n , il che si produce dall'interruzione dell'eccentrico (1).

1569. Da queste correnti elettro-magnetiche sonosi ottenuti tutti gli effetti chimici, fisici, e fisiologici delle altre correnti (§. 1352 e seg.). Messa appena la macchina in azione, la scintilla appare bentosto nell'interruzione dell'eccentrico; è dessa però più viva se si scocca con una punta dalla superficie del mercurio (Tav. 25 fig. 5); ed è bellissima quando all' ancora D si presenta un filo di ferro acuminato (Tav. 20 fig. 7). Si può con questa scintilla accender l'etere, mettendone delle goccioline sul mercurio (Tav. 25 fig. 5); ed è con essa riuscito WARTKINS ad accendere in distanza la polvere da sparo. Il Prof. Cav. BORRO ha ottenuto il primo la decomposizione dell'acqua, mettendo in comunicazione il voltmetro A coll'apparato magneto-elettrico per mezzo di due fili di rame $b M$, $b N$ (Tav. 25 fig. 6). Ha ottenuto ancora la decomposizione di alcuni sali metallici. Interponendo alle due piastrine di platino AB (Tav. 25 fig. 7) una carta reagente bagnata di un sale neutro, rendonsi sensibili gli effetti della chimica decomposizione. PIRRI ottenne il primo da queste correnti effetti di tensione nell'elettrometro; e CLARKE giunse a caricare la boccia di Leida. Facendo passare questa corrente per un esilissimo filo di platino (Tav. 25 fig. 8), PIANCIANI ebbe il primo i fenomeni calorifici, e l'arroventamento

(1) Si può anche raccogliere la corrente che si produce nelle due semicirconferenze, cambiandone però la direzione per mezzo di un *commutatore*, o *bascolo*, a fin di dirigerla sui corpi su cui vuolsi che agisca.

del filo metallico. FARADAY, NOBILI, ANTINORI, e PIANCIANI produssero la magnetizzazione temporaria del ferro dolce (Tav. 25 fig. 9), e la permanente dell'acciaio ; e l'ultimo di loro ha prodotto i fenomeni delle attrazioni e ripulsioni di AMPÈRE. Anche i movimenti rotatorii possono provocare con queste correnti, come si hanno dalle correnti voltaiche (§. 4544) ; che anzi se ne avvalse WHEATSTONE per dar segni telegrafici ; e produsse NOBILI la palpitazione del mercurio (§. 4367). Poste le rane nel circuito delle spirali avvolte intorno ai poli od all'ancora di una calamita , nell'atto dell'attacco e del distacco si divincolano , come la prima volta contestarono i celebri NOBILI ed ANTINORI ; ed interessanti sono gli esperimenti all'uopo istituiti dal Prof. ZANTEDESCHI (1). Munita poi la macchina dei due manubrii di rame RS (Tav. 20 fig. 6) nel modo dalla figura espresso , tenendoli colle mani bagnate , si ha una scossa sì violenta , che anche quei di nervi molto robusti non vi si assoggettano facilmente due volte. Ed il Prof. ZANTEDESCHI altri effetti ottenne di eccitabilità nerveo-muscolare , il sapore cioè , ed il bagliore.

4570. Profittando JENKINS della potenza induttiva della magnete , l'ha utilmente impiegata a rinforzare gli effetti della induzione , introducendo nella spirale un cilindro di ferro dolce , il quale nell'atto in cui il circuito è interrotto aggiunge la sua azione induttiva a quella del filo. BACHOFNER di Londra ha sostituito con vantaggio al cilindro massiccio , un fascio di fili dello

(1) *Trattato del Magnetismo e dell'Elettricità*, Venezia 1844 par. 2. p. 405.

stesso metallo. Questi stessi effetti possono divenire oltremodo strepitosi coll' uso della spirale secondaria, che avvolge un cilindro elettro-dinamico con entro un ferro dolce destinato a divenire calamita temporaria. Spinta la corrente nell' elica del cilindro, acquista il ferro dolce un forte magnetismo, che sparisce colla corrente induttiva nell' atto della interruzione del circuito. Questa doppia scomparsa dà luogo ad una doppia corrente nella spirale secondaria, tanto più energica quanto più intensi sono il magnetismo e la corrente magnetizzante.

1571. L' induzione prodotta dal magnetismo nei conduttori metallici, ha facilmente condotto alla spiegazione dei fenomeni scoperti da ARAGO nel 1825, di quelli cioè del *magnetismo di rotazione* (§. 1473 e seg.); facendosi così rientrare questi fatti, dapprima isolati, nel corpo della scienza. Proseguendo il celebre FARADAY le sue interessanti ricerche sull' induzione, giunse a scoprire di poter le calamite produrre delle correnti elettriche nei dischi ruotanti (1). Fece egli all' uopo oscillare fra i poli di una potente calamita un disco di rame, sulla cui superficie applicò in varii luoghi, che volea esplorare, i fili di un galvanometro, assicurandone il perfetto contatto coll' amalgamazione. Così operando conobbe che nel disco oscillante si eccitano delle correnti, come avvicinando ad un filo conduttore una calamita si sviluppa in esso una corrente istantanea, che si riproduce in senso contrario nel momento dell' allontanamento della cala-

(1) *Explication of Arago's phenomena, Researches* pag. 24—*Bibl. Univ.* avril. 1832.

mita dal filo (§. 1565); e che il corso delle correnti nel disco costituiscono una polarità elettro magnetica atta ad attrarre l' ago, che per questa forza attracente è costretto a seguire il moto di circolazione del disco. Nel disco quindi dell' apparato di ARAGO (§. 1474) queste correnti succedonsi rapidamente nelle parti che si avvicinano ai poli dell' ago sospeso e poi se ne discostano. Se al disco continuo di rame un' altro si sostituisca dello stesso metallo, diviso però in varii settori da intervalli vuoti, l' ago magnetico alcun moto più non concepisce (§. 1476); perchè gli intervalli fatti nel disco rendendo discontinue le diverse parti in cui si sviluppano le correnti, impediscono a queste per la discontinuità di circolare nel disco, e produrvi la polarità magnetica. Il magnetismo di rotazione è dunque fondato sulle dottrine elettro-magnetiche, e tutte le ipotesi immaginate per ispiegarlo sono cessate colla scoperta dell' induzione prodotta dalle calamite in conduttori metallici, ai quali sono avvicinate od allontanate.

1572. Se un disco di rame orizzontale si fa girare sul proprio asse, e presso di un ago d' inclinazione verticale e mobile in un piano parimente verticale che passa per un raggio del disco; il polo vicino è sollevato e spinto verso il centro quando l' ago istesso corrisponde a qualche punto dei due terzi di quel raggio; ed è spinto verso la periferia per l' altro terzo: fra le due posizioni l' ago non è mosso dal disco che ruota. Quest' azione magnetica del disco ruotante sull' ago calamitato dipende dagli stessi principii. Ora pur s' intende perchè le oscillazioni dell' ago magnetico sono diminuite dalla vicinanza di un metallo (§. 1472).

1573. Possono eccitarsi infine queste correnti anche dal magnetismo del globo terrestre. Avvolto al cilindro di legno AB (Tav. 20 fig. 9) lungo 22 centimetri e del diametro di 18, un fil di rame ricoperto di seta , 190 metri lungo e del diametro di circa mezzo millimetro , si tinge il cilindro di vernice resinosa per meglio isolare l'elica metallica. Messi in comunicazione i due capi r , z del filo con quei del galvanometro, e posto l'asse del cilindro nel sito dell'ago d'inclinazione ; quando da questo si rimuove conducendolo in semicerchio da settentrione a mezzogiorno, e da mezzogiorno a settentrione, l'ago del galvanometro devia, indicando or la corrente prodotta e poi la riprodotta. Se il cilindro AB è di ferro , risultano le correnti più vigorose, poichè reso il ferro per l'influenza terrestre temporariamente magnetico, ne aumenta gli effetti (§. 1570).

1574. Dopo questi primi esperimenti sulle correnti *magneto-telluriche* dimostrate dagli illustri NOBILI ed ANTINORI, e studiate dall'Ab. FAZZINI , sospesero all'uopo i Fisici ogn'altra ricerca, contentandosi di ritenere il fenomeno della induzione terrestre dalla sola perturbazione dell'ago magnetico. Ma dopo molti anni, il Professore di Torino Cav. BORRO, ottenne nel 1834 da questa corrente la decomposizione dell'acqua sul ferro , ed un deposito di polvere rossa di rame sul filo di argento immerso nella soluzione di solfato di rame. Ripreso poi lo studio di questo argomento nel 1840 dai benemeriti Professori LINARI e PALMIERI, si occuparono questi di quanto restava a farsi per completare le tentate ricerche sulle correnti indotte dal magnetismo terrestre. A raggiungere lo scopo cercarono di sommare l'intensità

delle correnti magneto-elettro-telluriche , onde, invece di un cilindro, impiegarono otto canne di ferro dolce , per avere il doppio vantaggio, di aumentare cioè la quantità del filo di rame presso il corpo conduttore, ed aver ad un tempo minor massa, senza diminuire l'energia della virtù magnetica, la quale, secondo si è dimostrato da NOBILI e da altri Fisici , risiede tutta presso la superficie. L'apparato quindi all'oggetto da loro ideato, e detto *batteria magneto-elettro-tellurica*, si compone di un telaio rettangolare di legno AA (Tav. 25 fig. 10), portante otto elementi, o cilindri cavi di ferro *b, b, b,...* circondati di più ordini di spirali di filo di rame ricoperto di seta, disposti parallelamente fra essi ed al piano magnetico, e l'uno tanto discosto dall'altro da impedire che la corrente dell'uno turbi con la sua influenza quella dell'altro. L'asse del telaio, normale al piano magnetico, è messo in rotazione con tutto il resto dell'apparato per uno de'suoi estremi da un sistema di ruote dentate attivato dal manubrio B; mentre corrisponde l'estremo opposto ad una disposizione C simile a quella della macchina di CLARKE (§. 1567), per stabilire le comunicazioni e le interruzioni nel tempo e modo convenevole. Terminando ogni elemento in fili liberi, per i fenomeni di tensione si congiunge il fine del primo col principio del secondo, e così sino all'ultimo, nel modo indicato dalla figura, mentre i due ultimi fili rimasti liberi conducono in C la corrente : per i fenomeni poi di quantità si congiungono in fasci i fili liberi dall'una e dall'altra parte dell'asse , costituendo essi così due capi, che con la loro unione stabiliscono nel congegno C il circuito della corrente risultante dalla somma delle correnti parziali. Con

tale apparecchio hanno egli ottenuto la decomposizione dell'acqua, la magnetizzazione, e la scintilla spiccata per frizione, luminosa e decisa sul mercurio; e corredando il congegno C dei due manubrii *a, a* hanno ottenuto la scossa.

1575. Proseguendo il Prof. PALMIERI tali ricerche, ha utilmente sostituito agli otto elementi o spirali dinamiche, una sola, ma grande spirale di forma ovale. Con questo apparato in tal guisa modificato ha egli ottenuto effetti più decisi di magnetizzazione, di azione chimica, decomponendo l'acqua ed il ioduro di potassio; nonchè la scintilla, e l'ignizione del filo di platino.

1576. Sonovi dunque quattro specie di correnti per spiegare i variatissimi fenomeni dell'elettricità: 1.° Le prodotte dall'elettricità di frizione, ossia dall'elettricismo ordinario; 2.° le voltaiche od idro-elettriche suscitate dall'azione chimica dei corpi; 3.° le termo-elettriche svolte dall'azione del calore; 4.° quelle d'induzione, od estracorrenti, promosse dall'elettricità di attrito, dalla voltaica, dalla termo-elettrica, dal magnetismo, e dall'azione terrestre. Dal confronto de' loro effetti sempre più risulta identica la cagione.



LIBRO QUATTORDICESIMO

DELL' ARIA.

CAPITOLO I.

DELLE PROPRIETA' DELL' ARIA ATMOSFERICA.

1577. Dicesi *Aria atmosferica* l'immensa massa di fluido elastico, invisibile ed inodoro, che involgendo il nostro pianeta agisce su di noi in tante guise, ed è per noi di mezzo di conservazione e relazione, serbandoci ad un tempo in vita, e trasmettendo per mezzo delle parole i nostri pensieri ai nostri simili.

1578. Essendosi trovati sempre nell'aria molti principii eterogenei, diverse esalazioni, e specialmente de' vapori acquosi; generalmente opinavasi che privata essa di tutte queste sostanze estranee che ne alterano sempre più o meno la purità, restava un'essere semplice, uno cioè de' quattro pretesi elementi. Ma è ormai provato di costar l'aria di due diversi fluidi, cioè di 0,210 di gas ossigeno, e di 0,787 di gas azoto, al qual composto v'è congiunta una piccola frazione, cioè poco più di 0,004 di gas acido carbonico. Tralasciando tutti i particolari di questo soggetto come proprii della scienza che ne ha svelata la composizione, non considereremo l'aria che nelle sue proprietà manifestate nello stato ordinario.

1579. GALILEO, il di cui nome naturalmente si associa ad ogni idea di ricerca sulla gravità, verificato avea il peso dell'aria, quasi generalmente negato prima di lui, benchè riconosciuto da qualche antico Filosofo. Essendosi prefissi alcuni fontanari Toscani di portar l'acqua nei giardini di Cosimo II°. De'MEDICI alla maggior altezza possibile, videro con sorpresa che giunta essa a quella di circa 32 piedi per mezzo delle trombe idrauliche, si ricusava ad una maggior elevazione. Cominciò quindi a dubitare dell'orrore della natura pel vuoto, assegnato fin'allora come causa di questo fenomeno, ed avendone poi conosciuto la vera, ne riserbò al suo discepolo EVANGELISTA TORRICELLI l'appalesamento. Provò questo infatti nel 1642 con un classico esperimento che il peso e la pressione dell'aria erano le vere cause del sorprendente fenomeno.

1580. Prese egli un tubo di vetro alto circa 30 pollici, chiuso in un estremo, lo riempì di mercurio, ed otturando con un dito l'altro estremo, lo capovolse in un bicchiere anche pieno di mercurio. Tolto il dito, vide il mercurio del tubo restarvi stazionario all'altezza di 28 pollici, invece di precipitare interamente nel bicchiere. Paragonando questa altezza con quella di 32 piedi a cui l'acqua può giungerenella tromba aspirante; riconobbe essere queste altezze in ragion inversa delle rispettive densità dei due liquidi; ecceder cioè 32 piedi di tanto 28 pollici, di quanto la densità del mercurio supera quella dell'acqua, ossia approssimativamente :: 1 : 14. Onde dedusse per idrostatico il fenomeno, e dipendente dal peso e dall'equilibrio dell'aria atmosferica, che negli spazii vuoti sostiene i liquidi ad altez-

ze che sono in ragion inversa delle loro gravità specifiche (§. 628).

1581. Questo celebre esperimento ripetuto dai Fisici contemporanei, fu verificato specialmente da PASCAL. Avendo osservato il suo cognato PERRIER che l'altezza del mercurio nel *tubo Torricelliano* diminuiva trasportandolo sui luoghi elevati, come sulla montagna di Puy de Dome presso Clermont nell'Alvernia, più non dubbiosi del peso e della pressione dell'aria in ragion diretta dell'altezza della colonna aerea premente. Si convinsero quindi i fisici, del peso e dell'elasticità dell'aria, dietro altre prove avute per mezzo della *macchina pneumatica* inventata dal Console di Magdebourg OTTONE GUERRICKE, e perfezionata da BOYLE, il quale dall'osservare come i bambini suggono il latte dalle mammelle, trasse l'idea di estrarre l'aria da un recipiente.

1582. Costa questa macchina del recipiente o *campana* di cristallo A (Tav. 21 fig. 1) il di cui orlo è sì ben spianato a smeriglio da combaciare esattamente col *piano* o *piatto* della macchina BC, che per mezzo del canale DE comunica colla tromba aspirante FI. Forato nel fondo lo stantuffo S, si chiude il buco con una valvola *v*, che si apre da sotto in sopra, talchè l'aria venendo di sotto l'alza e passa, e standovi poi sopra la preme, e chiude l'apertura. Sul fondo della *camera* FI della tromba si apre nella stessa guisa un'altra valvola *a*, perchè l'aria della campana A possa entrare nella camera pel canale DE senza più ritornare indietro. È quindi facile intenderne l'azione. Alzandosi lo stantuffo S la camera FI resta priva di aria ; quella compresa

nella campana A e nel tubo DE apre per la propria espansibilità la valvola *a* e passa in parte nella camera; spingendo giù lo stantuffo l'aria entrata nella camera così compressa preme la detta valvola e chiude il condotto DE; onde non potendo retrocedere apre la valvola *v* dello stantuffo, ed attraversandola n' esce fuori. Movendo a questo modo su e giù lo stantuffo per mezzo di una ruota dentata animata da una manovella si caccia ogni volta una parte d' aria racchiusa nella campana, sino a che il piccolo residuo non giunga a tal grado di rarefazione da non poter più aprire la valvola *a*. Si unisce a questa macchina un *provino* o *provetta* chiusa sotto la campana bislunga G, comunicante col meato DE della macchina: è dessa una specie di barometro troncato, che coll'abbassamento del mercurio indica i gradi di diminuita densità, la diminuzione cioè della forza elastica, che subisce l'aria della campana. Girandosi una chiave, ossia un *rubinetto* sito in *x* s'interrompe la comunicazione tra l'interno della campana A e la tromba FI, per conservare più a lungo il vuoto. Aprendosi poi un foro praticato in questo stesso rubinetto, si fa rientrare l'aria nell'apparato.

1583. Le macchine pneumatiche moderne sono costrutte a due trombe (Tav. 21 fig. 2), comunicanti per un comune condotto colla campana. Le aste de' due stantuffi sono dentate, ed ingranano con una ruota dentata, che si fa muovere con un doppio manubrio alternativamente in due opposte direzioni. Così mentre la ruota alza uno stantuffo, ne abbassa l'altro; ed il peso dell' atmosfera che tende a far discendere lo stantuffo favorisce l'operazione con forza eguale a quella che oppone allo stantuffo ascendente.

1584. Prodotto con questa macchina il vuoto sotto la campana, detto *vuoto Boileano*, è tale la pressione con cui l'aria esterna la comprime contro il piano della macchina, ch'è impossibile il poternela distaccare senza bilanciarne la pressione col rendere alla campana l'aria toltane. Si prova la stessa proprietà adattando sul piatto della macchina un cilindro di metallo o di cristallo A, detto *tamburo pneumatico* (Tav. 20 fig. 40) chiuso al di sopra da una vescica, da un pezzo di vetro, o dalla palma della mano. Estrattane l'aria, la vescica resa dapprima concava, scoppia poi crepando; il vetro si fa in pezzi, e la mano resta al cilindro fortemente attaccata. Estratta parimente l'aria dalla campana A (Tav. 21 fig. 4), ed immersola poi nel bacino B ripieno di acqua; aprendo il rubinetto C, l'acqua del bacino tosto zampilla nella campana. Fatto il vuoto, la forza premente dell'aria esterna sull'acqua del bacino, non più bilanciata da quella dell'aria interna della campana, fa salire l'acqua attraverso del tubo e la fa zampillare nell'apparato. Ma sì poderosa pressione è infine meglio provata dagli *emisferi di Magdebourg*, coi quali si fa il vuoto in una sfera cava di metallo, le di cui metà A e B combacino esattamente tra esse (Tav. 24 fig. 3). Prima di fare il vuoto i due emisferi possonsi agevolmente separare; ma estrattane l'aria, chiusa la chiave C, e distaccato l'apparato dalla macchina, gli emisferi aderiscono talmente tra essi, che la forza di due uomini robusti non puole distaccarli.

1585. Essendo l'aria sommamente fluida e quindi scorrevole, non solo preme verticalmente, come risulta dai cennati sperimenti, ma al pari di tutti gli altri flui-

di preme egualmente in ogni direzione (§. 591). Sotto la campana di cristallo forata lateralmente in B (Tav. 21 fig. 5), e coll' apertura esattamente chiusa da un turacciolo di metallo , si mette il mulinello A liberamente girevole sul proprio asse , e corrispondente all' indicata apertura. Fatto il vuoto sotto l' apparato , sturando la campana vi penetra l' aria con tal impeto da far girare celeramente il mulinello. Ripieno di mercurio un tubo lungo 30 pollici e chiuso in un estremo , si rovescia in un bicchiere pieno dello stesso liquido per mettere la colonna mercuriale in equilibrio colla pressione atmosferica (§. 4580); praticando poi un piccolissimo foro alla metà circa della lunghezza del tubo , l' aria per essa rapidamente introdotta divide e spezza in due parti la colonna mercuriale , spingendone una parte da alto in basso e l' altra dal basso in alto. Per l' eguale pressione dall' aria in ogni senso i corpi teneri, come per esempio le uova, circondati e premuti da essa egualmente in tutte le parti non si schiacciano, nè si alterano nelle loro forme (§. 592).

4586. Quindi s' intende perchè il bambino succhiando stringe fra le sue labbra il capezzolo della mammella. Aspirando l' aria ne' suoi polmoni , produce un vuoto , benchè imperfetto, nella cavità della bocca, onde l' aria premendo sulla mammella ne spinge fuori il latte. Accendendo egualmente un poco di bambacia in un bicchiere od in una *ventosa*, e rovesciandolo immantinente sulla cute, per la rarefazione dell' aria prodotta dal corpo acceso, si rigonfia la cute nel vase , e sgorga il sangue dalle ferite praticatevi.

4587. Oltre la gravità dell' aria ne provò GALILEO ad

evidenza il peso. Introdotta essa in un vase di vetro, e compressavela, trovò il vase più pesante di quando l'aria in esso contenuta era nel suo stato naturale. Si è poi valutato il peso dell'aria, pesando un globo prima pieno di aria e poi dopo vuotato di essa al più possibile. Così operando ha trovato DELUC che alla temperatura del ghiaccio che si fonde e sotto la media pressione di 28 pollici di mercurio, il rapporto tra il peso dell'aria e quello dell'acqua distillata è di 1:760, che dietro più accurati esperimenti ha BIOR verificato per 1:770,30; onde un pollice cubico di aria, a termine medio, pesa 0,4684 gr., ossia poco meno di mezzo grano.

1588. Ha l'aria un'altra notevole proprietà detta elasticità, l'incessante tendenza cioè a dilatare la sua massa, ad occupare uno spazio maggiore, ed a diminuirne la densità. Quindi è l'aria compressibile, poichè cedendo alle forze preponderanti che la comprimono, si restringe di volume crescendo proporzionatamente la sua densità ed elasticità finchè giunga ad equilibrare la forza comprimente. Cedendo e diminuendosi questa forza, torna l'aria ad espandersi.

1589. Molti esperimenti comprovano questa proprietà. Estratta l'aria dal recipiente della macchina pneumatica, sotto di cui siasi posta una vescica semiafflosciata e ben chiusa, a misura che l'aria stessa diradasi, la poca contenuta nella vescica cresce di volume in modo, che dopo di averla rigonfiata giunge anche a squarciarla. Aggravandosi inoltre la vescica flaccida con pesi di piombo, fatto il vuoto nell'apparato, la poca aria chiusa nella vescica si espande così fortemente da sospingere i piombi che la comprimevano. Un vase sottilis-

simo di vetro ermeticamente chiuso e posto sotto la campana pneumatica, appena estratta l'aria crepa. Prova finalmente il seguente fatto l'espansibilità dell'aria. Sotto il recipiente bislungo A B (Tav. 21 fig. 6) della macchina pneumatica si mette il vase C ripieno per metà di acqua, coll'apertura esattamente chiusa da un turacciolo attraversato da un cannello sottile, che giunge quasi al fondo. Fatto il vuoto, l'aria che preme la superficie dell'acqua non più in equilibrio coll'aria esterna dilatandosi fa sorgere un zampillo nel recipiente.

1590. Tra gli altri sperimenti comprovanti la compressibilità dell'aria vi è quello che s'istituisce colla macchina detta *fantana di compressione*. È questa un vase AB (Tav. 21 fig. 7) ripieno d'acqua per metà, al di cui orificio si adatta a vite il tubo *a*, che munito nel suo vertice della chiave C giunge a piccola distanza dal fondo: lasciando aperta la chiave, vi si adatta la tromba premente DE, avente cioè la valvola che si apre in sotto, per mezzo della quale s'introduce molt'aria, che per la sua leggerezza restando sull'acqua la preme con una forza elastica, che cresce a misura che con ripetuti colpi di stantuffo vi si condensa. Chiusa quindi la chiave C si sostituisce alla tromba il piccolo tubo conico *p* col vertice aperto in alto. Aprendosi allora la chiave C, l'aria agente sulla superficie dell'acqua la spinge nel tubo, da cui uscendo in zampilli ad una notevole altezza si eleva. Dilatandosi però l'aria coll'uscir dell'acqua manca la sua forza elastica, e questa meno alta a poco a poco si lancia. Lo *schioppo pneumatico* non è altrimenti costruito. Condensata l'aria nel calcio mediante la tromba comprimente, proietta la palla per più scariche consecutive.

1591. Scoperta la compressibilità dell'aria, riuscì a BOYLE e MARIOTTE di rilevare la legge della compressione, sotto forze progressivamente crescenti, col seguente sperimento. In un tubo curvo A i l B (Tav. 20 fig. 44) stabilmente fissato su di un piano, munito di due braccia diseguali, il lungo di più piedi e conformato ad imbuto ed il corto ben chiuso, si versa a poco a poco tanto mercurio da riempirne la curvatura i l per servir da indice e tener compresa in l B la piccola quantità di aria. Supposto il braccio più corto lungo un piede e diviso in 12 pollici, l'aria in esso compresa avendo la densità dell'esterna sostiene la pressione d'una colonna d'aria eguale in peso ad una di mercurio della stessa base e dell'altezza di 28 pollici. Versati nel primo braccio altrettanti pollici di mercurio, si solleva questo bentosto nell'altro sino alla metà di sua lunghezza, cioè sino a 6 pollici, riducendo l'aria in esso contenuta ad un volume subduplo. Ma premendosi in tal caso l'aria con un doppio peso, per l'aggiunzione di quello del mercurio all'eguale della colonna d'aria; una doppia pressione subduplo rende il volume dell'aria compressa. Versando altra eguale quantità di mercurio nel tubo lungo, si riduce l'aria nel tubo corto ad $\frac{1}{2}$ di piede, cioè a 4 pollici. Quadruplicata la pressione con altro versamento di mercurio alto pure 28 pollici, si riduce il volume dell'aria ad $\frac{1}{4}$ di piede, cioè a tre pollici. Crescendo quindi i pesi nella progressione 1, 2, 3, 4 ed i volumi nell'altra corrispondente $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4} \dots$, non può essere il volume dell'aria che nella ragione inversa de' pesi comprimenti.

4592. Questa legge dedotta dagli esperimenti di **BORLE** e di **MARIOTTE** è stata confermata da quelli all'uopo istituiti dal Professore **BACCELLI** (1). **ONERATED** l'ha poi verificata anche nei gas, quantunque sommamente grande ne sia la pressione, purchè sussista lo stato gassoso, e ai dissipi il calore sviluppato dalla compressione. Abbenchè la varia temperatura non renda variabile questa legge (2), pur nondimeno **PRONY**, **ARAGO**, **GIRARD** e **DULONG** ne han riposto il limite in una pressione eguale a 27 atmosfere, e forse per un numero anche un poco maggiore (3).

4593. Essendo l'aria un corpo perfettamente elastico, cioè compressibile ed espansibile (§. 4588); dee tantopiù tendere ad espandersi quantopiù è compressa (§. 506), ossia dee sviluppare una forza elastica eguale e contraria a quella di compressione. La forza elastica dunque dell'aria, ossia la sua *molla*, è nella ragion diretta de' pesi comprimenti. Or essendo questo rapporto quello della densità (§. 4589), ne segue che l'elasticità e la densità dell'aria sono proporzionali. Ciochè dunque aumenta o diminuisce la densità, accresce o scema l'elasticità dell'aria. Ma il freddo addensa ed il caldo rarefa l'aria; il freddo dunque ne aumenta ed il calore ne diminuisce la molla. La diminuzione però dell'elasticità prodotta dal calore non si manifesta che nel caso in cui sia l'aria espansibile; poichè se riscaldandosi l'aria compressa in un recipiente si espande, e

(1) *Giorn. di Fis. del Regno Italico* t. 8. p. 3.

(2) **POUILLET**, *Elém. de Physique*, tom. 1 p. 262.

(3) *Ann. de Phys. et de Chim.* t. 43. p. 40.

dilatandosi ne forza i pareti, somigliano questi effetti a quelli della forza elastica, ma dipendono dall'espansione dell'aria cagionata dal calorico.

1594. Risulta quindi la pressione dell'aria dalla sua gravità ed elasticità insieme; premendo i corpi, che investe, col suo peso e colla sua tendenza a dilatarsi. E corrispondendo la forza elastica dell'aria al peso premente; obbligata una massa aerea, benchè piccola, a conservare il volume a cui l'ha ridotta il peso dell'aria soprastante, esercitar deve una pressione eguale a quella dell'aria sopraincombente. Onde l'aria vicina alla superficie terrestre condensata dal peso dell'atmosfera, stando chiusa in una stanza senza comunicare col di fuori, preme al pari dell'atmosfera istessa.

1595. Supponendo quindi divisa la nostra atmosfera in tanti strati di egual grossezza, e concentrici alla superficie della terra, ed ammettendone con MARIOTTE (§. 1591) le densità in ragion diretta ed i volumi nell'inversa delle pressioni; decrescer debbono le densità di questi strati da basso in alto; suppostane però uniforme la temperatura in tutte le altezze, variando essa la densità.

1596. A dimostrare i rapporti delle altezze colle densità corrispondenti dell'aria, la massa $abzs$ di questa presa dalla superficie terrestre ab sino al limite sz dell'atmosfera (Tav. 21 fig. 8) si divida in tanti sottilissimi strati tra loro equidistanti con altrettante rette dc , ef , gh parallele alla retta ab . Le densità di questi strati scemar dovendo sempre più a misura che distano da ab , esser debbono come i pesi delle quantità di aria situate su ciascuno di essi; la densità

cioè dello strato $abcd$ è a quella del seguente $d c f e$, come il peso dell'aria contenuta in $dczs$ è a quello dell'altra contenuta in $cfzs$. Supposta poi una curva $bnop$ rxs tale che se l'aria contenuta in ogni spazio $abcd$, $d c f e$. . . fosse ridotta a non occupare che lo spazio corrispondente $abnd$, $dnoc$. . . preso nell'interno della curva, sarebbe il fluido uniformemente distribuito in tutto lo spazio da essa terminato. Non è questa ipotesi impossibile, poichè essendo in progressione decrescente le primitive densità dell'aria, e gli spazii $abnd$, $dnoc$. . . compresi nella curva, si può scegliere questa in modo che le parti d'aria, che passeranno dagli spazii bnc , $ncfo$. . . nei vicini $abnd$, $dnoc$. . . crescer facciano le densità dell'aria, che prima occupava questi ultimi spazii, in modo da annullarne le differenze. Ciò supposto è chiaro, che essendo gli spazii $abnd$, $dnoc$. . . tanto minori quanto minori erano le primitive densità, egualierà il loro rapporto quello di queste; e gli spazii dns , eos . . . situati sui primi saranno successivamente tra essi come i pesi delle quantità d'aria comprimenti quella contenuta negli spazii $abnd$, $dnoc$. . . E condensandosi l'aria secondo il peso di cui è carica; anche gli spazii dns , eos . . . proporzionali saranno agli altri $abnd$, $dnoc$. . .; ma son questi le differenze tra i primi, e quando varie quantità sono tra esse come le loro differenze, sono entrambe in progressione geometrica; gli spazii dunque $abnd$, $dnoc$, $eopg$. . ., ossia le densità dell'aria corrispondenti alle altezze ad , ae , ag . . . la legge seguono di tal progressione; ed essendo queste altezze in progressione aritmetica per le eguali distanze

a d, d e, e g . . . ; conchiuder debbesi che quando le distanze dalla superficie terrestre si prendono in progressione aritmetica, decrescono le densità nella progressione geometrica.

1597. Varie quistioni han promosso i fisici sull' altezza dell'atmosfera. Secondo la legge di MARIOTTE (§. 1591) sembra essa indefinita, non potendo mai ridursi a zero i termini d' una serie geometrica decrescente. WOLLASTON opina però di terminar essa ove la forza espansiva dell'aria si equilibra con quella di gravitazione. Occupatisi quindi i fisici della determinazione della relativa altezza atmosferica, col metodo suggerito da KEPLERO, dedusse DE LAHIRE dalla durata del crepuscolo matutino e vespertino, che l'altezza dell'atmosfera sino al limite ove più non può rifrangere la luce sarebbe di 16 leghe , corrispondenti a circa 48 miglia geografiche: mediante però la formola di LAPLACE, che si esporrà in appresso, il limite dell'atmosfera si trova a 46629^m, cioè a circa 10 leghe.

1598. Equivalendo la pressione dell'aria atmosferica su di una data superficie al peso di una colonna di acqua, che abbia a base eguale un'altezza di 32 piedi (§. 1580) ; è facilmente calcolabile la pressione che soffre il corpo umano dall'aria circostante. Ragguagliandosi infatti la superficie di un uomo di mezzana grandezza a circa 15 piedi quadrati, il prodotto di questo numero per quello di 32 piedi di altezza, moltiplicato per 70 libbre francesi (peso di un piede cubico di acqua), dà in 33600 libbre francesi l'espressione del peso di tutta l'aria gravitante sull'uomo. Non se ne avverte però l'azione, esercitandosi questa egualmente in

ogni senso (§. 1585), e bilanciandosi dall' eguale e contraria reazione de' fluidi elastici contenuti nelle interne cavità del corpo umano. Lungi dal pregiudicare questo enorme peso all'economia animale , facilita la circolazione degli umori, ne scema l'urto contro le pareti dei vasi, e contraria l' eccessiva dilatazione dell' aria contenuta nelle parti interne degli animali. Inoltre l'aria ispirata dilata il polmone, e se esso spontaneamente si dilata, come da taluno si asserisce, ne facilita ed aumenta l' espansione per farlo agevolmente traversare dal sangue.

1599. Sotto il doppio aspetto di peso ed elasticità influisce tanto l'aria sull'andamento della vita che non se ne può impunemente avvertire il difetto. Per una regolare respirazione bisogna il passaggio di una determinata quantità di aria pei polmoni in un dato tempo. Divenendo quindi più rara l'aria che respiriamo, più frequenti debbono essere le ispirazioni; il che rende più difficile la respirazione e con essa tutti i fenomeni che ne derivano. Sempre più decrescendo la densità ed elasticità dell'aria, i polmoni per mancanza di tensione si restringono. Ristagnato quindi il sangue nel cuore , ne avviene un ringorgo mortale nel cervello per le giugulari. Non meno funesti sono gli effetti della mancanza del peso dell' aria: la soverchia espansione dell'aria interna, la ritardata circolazione degli umori, e l'urto di questi contro dei vasi non recherebbero in tal caso all'animale economia che gravissime alterazioni , e finanche la morte istantanea, se rapidissima ne fosse la cagione. Quei che si trasferiscono al vertice di monti altissimi, od a grandi altezze si elevano in globi aerostatici,

i tristi effetti soffrono della rapida mancanza dell'atmosferica pressione. Si è allora affaticatissimo, non si può affatto proseguire il cammino, non si può resistere ad una specie di assopimento, con fatica si respira e con frequenza; le pulsazioni si accelerano, e più oltre proseguendo si serebbe soggetto prima a funeste emorragie e poi alle morte (1). Però, quantunque sia l'aria a continue variazioni soggetta in quanto alla sua densità alterata dai cangiamenti di temperatura e dall'azione di varie cause naturali; vi siamo pure pochissimo sensibili, piccole essendo per se stesse e poco estese, successivamente accadendo e con molta lentezza.

1600. A prescindere dalla pressione ed elasticità dell'aria atmosferica, gli animali in generale han bisogno di respirarla per conservarsi in vita. Posto un animale nel recipiente della macchina pneumatica, appena l'aria è notabilmente rarefatta, mostra una grande inquietudine, è anelante, si gonfia, soffre emorragie, vomiti, deiezioni alvine, ed infine muore, se l'aria non vi s'introduce di nuovo. Benchè la morte debbasi ripetere in tal caso dalla mancante pressione ed elasticità dell'aria, molto però vi contribuisce ancora la mancata influenza chimico-fisiologica del gas ossigeno. Si estingue la vita in questo aspetto come un lume nel vuoto boileano. La mancanza dell'aria per altro non priva di vita tutti gli animali con egual prestezza. In pochi momenti periscono quelli che hanno il cuore con due ventricoli, come i mammiferi e gli uccelli; e dopo qualche ora quelli che lo hanno ad un ventricolo, come i rettili ed i pesci. An-

(1) SAUSSURE, *Voyage dans les Alpes*, n. 559 et 2021.

che questi ultimi però respirano l'aria sempre mista coll'acqua, e respirandola assorbiscono e consumano non solo l'ossigeno, ma pure l'azoto.

CAPITOLO II.

DEL BAROMETRO.

1601. Ripetendosi l'elevazione e depressione della colonna mercuriale nel tubo torricelliano dal vario peso dell'aria atmosferica (§. 1581), lo si è tenuto dai Fisi- ci in continuo sperimento, e n'è quindi derivata la co- struzione dell'apparato idrostatico detto *Barometro*.

1602. Nella sua massima semplicità costa questo strumento di un tubo di vetro lungo più di 30 pollici e perfettamente chiuso in cima. Riempito di mercurio, lo si capovolge in un vase B detto *pozzetto o bagno*, ripieno in parte dello stesso liquido (Tav. 21 fig. 2). Disceso il mercurio nel tubo, e fermatosi all'altezza di circa 28 pollici; si fissa il tubo col suo pozzetto sul piano di legno AB. Per indicare esattamente con questo strumento le variazioni del peso dell'aria, si dissecca il tubo fortemente riscaldandolo, e poi vi s'introduce a poco per volta il mercurio distillato bollente a fin di purgare il metallo dall'aria frappostavi, ed estrarne il sottile strato di umido attaccato alle pareti del tubo. Senza di queste precauzioni attraversando l'aria e l'umido la colonna mercuriale occuperebbero il vuoto esistente su di questa, e deprimebbero il mercurio colla loro forza espansiva e premente, bilancerebbero in parte gli effetti del peso dell'atmosfera esterna.

1603. Non può misurarsi l'atezza della colonna barometrica che con una scala, il di cui zero perfettamente corrisponda al livello del mercurio nel pozzetto. Si partisce questa scala in pollici, cominciando ordinariamente da 23 al di sopra dell'indicato livello, ed estendendosi sino a 30. Costa ogni pollice di 40 parti, chiamate abusivamente *linee* (1). Oggi però la divisione metrica è ad ogni altra preferita; onde la scala barometrica dividesi in centimetri e millimetri.

1604. È questa costruzione soggetta ad una imperfezione. La colonna mercuriale scendendo e salendo fa entrare nel tubo una piccola parte del mercurio del pozzetto, o fa passare in questo una parte del mercurio del tubo. Variandosi quindi il livello, non sempre corrisponde esso allo zero della scala, che è il principio a cui si riporta l'osservazione dell'altezza, ed a cui corrisponde l'estremo della colonna sulla scala medesima. Ad evitar questo inconveniente **FORTIN** costruì di pelle il fondo del pozzetto, perchè reso così mobile, si possa innalzare od abbassare per mezzo della vite A (Tav. 21 fig. 10), secondocchè il mercurio monti nel tubo o vi discenda. Per conoscere con precisione di quanto debba girarsi la vite per alzare od abbassare il fondo mobile, ond'essere sempre la superficie del mercurio del pozzetto a livello collo zero della scala; si met-

(1) Scorre lungo la scala barometrica un cursore, detto *nonio* o *verniero*, cioè un apparato che suddivide le parti eguali d'una rotta o d'un arco circolare. Si può quindi contare pel suo mozzo i centesimi di un pollice, leggendosi sulla scala i decimi, cioè le linee ed i pollici. Ved. *Dizion Tecnologico* ec. Venezia. 1836, Vol. 14.º

te sulla superficie del liquido un piccolo *galleggiante* di avorio I, che emergendo mostra con una retta in esso segnata il moto da darsi al fondo mobile per trovare esattamente la linea di livello. La scala di questo strumento è segnata su di un tubo metallico, che mentre circonda e difende il tubo barometrico, ha un' apertura longitudinale, che lascia vedere la colonna mercuriale. Si evita pure lo stesso inconveniente facendo il pozzetto ben largo verso il punto di livello (Tav. 21 fig. 9), non alterandosi così in modo valutabile il livello del mercurio per le variazioni della colonna barometrica.

1605. Nell'osservare l' altezza di questa si deve tener conto degli effetti piroscopici del calore, variando colla temperatura il volume mercuriale del tubo, e rendendolo il calore, che lo dilata, meno pesante sotto un egual volume. Allungandosi quindi ed accorciandosi la colonna di mercurio nell'innalzamento ed abbassamento della temperatura, indipendentemente dalla pressione atmosferica, non indicherebbe il barometro il vero peso dell'aria se non si riducessero tutte le osservazioni ad una stessa temperatura, cioè a quella dello 0.^o del termometro centigrado. PETIT e DULONG in seguito di rigorose ricerche han dimostrato che un volume qualunque di mercurio alla temperatura del ghiaccio che si fonde, cioè a zero grando, aumenta di $\frac{1}{5550}$ del suo primitivo volume per ciascun grado del termometro centigrado sopra lo zero. Quindi una colonna di mercurio che a 0.^o fosse alta 760^o, passando alla temperatura di + 15° C. aumenterebbe la sua altezza di 15 volte $\frac{1}{5550}$ di 760^o, cioè di 2^o,05; onde sulla scala si leggerebbe 762^o,05 invece di 760^o. Osservar quindi de-

vesi il termometro apposto nell'incassatura del barometro, e notare il grado di temperatura da esso indicato nel momento dell'osservazione. Nel caso dunque che la temperatura è superiore allo zero si sottrae dall'altezza osservata tante volte $\frac{1}{5550}$, quanti sono i gradi di temperatura; se questa è al di sotto dello 0° si aggiunge in vece di sottrarre. Nella seguente tavola sono indicate le correzioni da farsi per ciascun grado centigrado; indicando la prima colonna la temperatura, e la seconda la quantità in millimetri da doversi sottrarre od aggiungere.

TAVOLA

Di riduzione della colonna Barometrica alla temperatura 0° C.

Gradi C.	Riduzione	Gradi C.	Riduzione	Gradi C.	Riduzione	Gradi C.	Riduzione
	mill.						
1	0,14	11	1,51	21	2,88	31	4,23
2	0,27	12	1,64	22	3,00	32	4,36
3	0,41	13	1,77	23	3,13	33	4,49
4	0,55	14	1,91	24	3,27	34	4,63
5	0,68	15	2,04	25	3,40	35	4,77
6	0,82	16	2,18	26	3,54	36	4,90
7	0,96	17	2,33	27	3,68	37	5,04
8	1,09	18	2,46	28	3,81	38	5,17
9	1,23	19	2,59	29	3,94	39	5,30
10	1,37	20	2,73	30	4,09	40	5,44

1606. Se i tubi barometrici sono molto stretti, o di un diametro minore di due millimetri, o linee 8,8659, esercitano in tal caso sul mercurio un'azione capillare; e tenendosi quindi il liquido più basso (§. 521 e seg.) s'indica una minor pressione atmosferica. Dovendosi perciò correggere l'altezza della colonna mercuriale dell'effetto della capillarità, determinato il diametro interno del tubo, fa d'uopo aggiungere all'altezza osservata la quantità calcolata in millimetri, ed espressa nella seguente tavola.

TAVOLA

Di correzione per gli effetti della capillarità.

Diametro interno in millimetri	Depressio- ne in millimetri	Diametro interno in millimetri	Depressio- ne in millimetri
2	4,56	9	0,64
3	2,90	10	0,42
4	2,04	11	0,33
5	1,51	12	0,26
6	1,13	13	0,20
7	0,88	14	0,16
8	0,69	15	0,12

1607. Per toglier l'impaccio della correzione della capillarità si è costruito il *barometro a sifone*, il di cui tubo è piegato in modo da formare due branche parallele e disuguali (Tav. 24 fig. 11). La più corta è solo accessibile all'aria, che mantiene colla sua pressione elevato il mercurio nella branca lunga alla solita altezza di circa 28 pollici sul livello del liquido contenuto nella corta. Avendo i due rami un egual diametro, esercitano sul mercurio eguali azioni capillari, ma in

senso opposto ; che perciò equilibrandosi , si rendono inefficaci. Si misura poi la lunghezza della colonna barometrica per tale costruzione , dalla differenza delle due braccia.

1608. Il barometro a sifone si è tanto perfezionato da GAY-LUSSAC che si è reso portatile e di un uso comodissimo. Le due braccia AC, BD (Tav. 22 fig. 1) di questo barometro sono unite dal tubo BC di diametro minore di quello di esse. Il braccio corto , chiuso al di sopra, ha lateralmente in D presso la sommità un esilissimo foro accessibile all'aria, ma incapace di emettere il mercurio per la sua azione capillare. Osservata quindi la differenza del livello degli estremi della colonna mercuriale, rovesciandosi gentilmente il tubo, il ramo lungo si riempie di mercurio, cadendone l'eccesso nel corto , come si osserva in EF , senza timore di versarsene la più piccola parte. Si può trasportare lo strumento rovesciato senza la minima alterazione anche in lunghi viaggi ; e per renderlo all'uopo più comodo si chiude in un involucri di legno GH , su cui si fissa la scala , e s'incasta anche un termometro. Essendosi accorti i fisici d'introdursi dopo un certo tempo un poco d'aria nel braccio lungo ad onta di ogni cura nell'usarlo , vi ha costruito BUNTIN un tramezzo di vetro I , nel di cui centro scende perpendicolarmente un tubo capillare , attraverso del quale passar deve necessariamente il mercurio ne' suoi movimenti ascendenti e discendenti ; e scorrendo l'aria per le pareti , qualche bolla che vi s'introduce arrestata dal tramezzo , non nuoce all'osservazione , e , capovolto lo strumento , scappa via. Lo stesso ha praticato una strozzatura ver-

so l'estremità superiore del tubo , per impedire che l'urto dell'intera colonna mercuriale possa romperlo nel rovesciare lo strumento. Questo barometro ha l'inconveniente, che per una data variazione di pressione, la corsa del mercurio per ognuna delle colonne non è che la metà di quella che avviene in un simile barometro a largo pozzetto. Quindi le piccole variazioni si valutano con difficoltà ; e l'incertezza del risultato è resa maggiore esigendosi due invece di una operazione.

1609. Il *barometro a quadrante* di JECCKER è una modifica di quello a sifone. Sull'apertura del braccio corto del tubo barometrico vi è una puleggia mobilissima *c* (Tav. 21 fig. 12), il di cui centro corrisponde a quello del quadrante *bd*, le di cui divisioni sono scorse da un ago fissato su di essa. Passa sulla circonferenza della girella un filo, dai di cui estremi pendono due piccoli contrappesi *a*, *a'*. Il primo di essi è libero ed equilibra il secondo che poggia sulla superficie del mercurio senza deprimerlo. Aumentata quindi o scemata l'atmosferaica pressione, il peso *a'* discendendo colla colonna mercuriale , su cui poggia, fa girare corrispondentemente la carrucola e con essa l'indice, che ne indica la quantità sulla periferia del quadrante *bd*, graduato in pollici e linee. Chiuso poi tutto l'apparato in un armadio, non comparisce che il quadrante coll'indice corrispondente, come *AB* rappresenta. Il vantaggio che presenta questo istrumento, di rendere cioè più sensibili le variazioni di pressione, non è che apparente , a causa della trasformazione del movimento ; queste valutazioni per essere esatte debbono eseguirsi nel modo più diretto possibile.

1610. Riconosciuto però variabile il peso e la pressione dell'aria, pei continui cambiamenti dell'altezza del mercurio nel barometro fisso nello stesso luogo; si è sentito qualche rapporto tra l'altezza della colonna barometrica e lo stato dell'atmosfera, in modo da presagirsi coll'elevazione la serenità ed il bel tempo, e coll'abbassamento la pioggia. Ma queste indicazioni non sono sempre fedeli, osservandosi spesso nell'elevazione del barometro volgersi il bel tempo in cattivo, per essere tante le cause de' suoi cangiamenti che sfuggono alla ponderazione del fisico. Il risultato generale delle barometriche osservazioni è che, stabilita in una stagione l'altezza media del barometro, al di sopra di questo limite il tempo è ordinariamente costante, ma è al di sotto per lo più variabile. Le variazioni barometriche sono più grandi e più frequenti nell'inverno che nell'està, e maggiori nelle regioni fredde che nelle calde.

1611. La seguente tavola esprime le differenze di pressione che noi proviamo per le variazioni della colonna barometrica; talchè quando questa è, per esempio, alta 780 millimetri, una superficie di 1 metro quadrato soffre il peso di 10597 chilogrammi; che se poi si deprime sino a 740, questo peso si riduce a 10054 chilogrammi; e che perciò la differenza di pressione barometrica di 40 millimetri è causata da una diminuzione di peso di 543 chilogrammi per ogni colonna atmosferica di 1 metro quadrato di base.

non è giunto al più alto grado di precisione che per l'opera dell'insigne LA PLACE (1). La formola però di questo grande ingegno non essendo di troppo facile applicazione, le *Tavole barometriche e logaritmiche* pubblicate da BIOT, somministrano ai men periti il mezzo di facilmente ed esattamente misurare qualunque altezza (2). Ed assegnando in mancanza di esse 25 tese per

(1) Se l'atmosfera fosse egualmente densa in tutta la sua altezza, facilissima sarebbe la soluzione del problema. Imperocchè essendo la densità del mercurio 10463 volte maggiore di quella dell'aria alla superficie della terra, una colonna di mercurio alta un millimetro deve conseguentemente equilibrarsi con una colonna d'aria alta 10ⁿ,463 (§. 628): così di quanti millimetri sarebbesi abbassata la colonna del barometro passando dal livello del mare su di un monte, di tante volte 10ⁿ,463 sarebbe l'elevazione del dato luogo dal mare. Ma la densità dell'aria decresce col crescer dell'altezza (§. 1596), diminuendo in questa proporzione il numero degli strati superiori comprimenti: ed a produrre queste variazioni di densità concorrono la temperatura, la quantità del gas acqueo, che non è la stessa in tutti gli strati, e l'azione della gravità che decresce colla nota legge delle distanze (§. 61). Tutte queste cagioni adunque rendono ben complicato il problema di determinare le altezze per mezzo del barometro. Preso questo argomento in esame dal celebre LA PLACE, ha dato all'uopo la seguente formola, colla quale mettendosi a calcolo tutti questi elementi, si ottiene la differenza in altezza di due stazioni alla latitudine di 45°. Ottenute le altezze barometriche A ed a delle due stazioni, e le corrispondenti temperature T e t, si ha la differenza in altezza delle due stazioni eguale a $18393 \left(1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right) \log \frac{A}{a}$.

(2) *Tables Barometriques portatives etc.* par BIOT, Paris

ogni 2 linee di variazione barometrica , aver si possono de' risultati molto approssimativamente esatti, nella valutazione specialmente di non molto grandi elevazioni. Meglio però soddisfa allo scopo l'annessa tavola pubblicata da D' AUBUSSON VOISINS , la quale colla massima semplicità è atta a valutare anche la minima altezza di un metro , e giunge alla massima sinora osservata. Ecco il modo di usarne , avvalendosi all' uopo del barometro di GAY-LUSSAC o di quello di FORTIN , colla scala divisa in centimetri ed in millimetri. Valutata l'altezza della colonna mercuriale del barometro sito nella stazione inferiore , si prende nella colonna delle *altezze* il numero che gli corrisponde ; e qualora l'indicazione barometrica portasse una frazione , come quasi sempre ha luogo , si moltiplica questa per il numero corrispondente della colonna delle *differenze* , e si sottrae il prodotto dal numero dell' altezza. Eseguitasi la stessa operazione pel barometro della stazione inferiore , si sottrae da questa quell' altezza così corretta , e si ottiene nel quoziente la richiesta altezza. Ben s'intende che le correzioni di temperatura e di capillarità debbono precedentemente eseguirsi colle norme di sopra indicate. Suppongasi che il barometro inferiore indichi 74ⁿ,22 , e 60ⁿ,605 il superiore, che sono appunto quelle date nella misura dell' altezza del Monte-

1811 — Meritano di esser raccomandate le *Tavole Barometriche* pubblicate in Genova dalla stamperia Pontenier ; ed i giovani provetti nelle matematiche possono ancora consultare la Memoria di PICTET *Sulla maniera di misurare le altezze col barometro* inserita nel T. 43 della *Biblioteca Britannica* , e nel *Trattato di Astronomia* di BIOT.

Gregorio : si prende dalla colonna delle *altezze* il numero 317 metri che corrisponde al 74 cen. indicati dal barometro della stazione inferiore, e moltiplicata la frazione 0,22 della stessa indicazione barometrica per la corrispondente *differenza* 107, si sottrae il prodotto 24 dall' altezza 317. Si ottiene così la prima altezza 293. Si ripete quindi la stessa operazione per l' indicazione del barometro superiore, sottraendo dall' altezza 1990 metri corrispondente a 60^a, il prodotto della corrispondente *differenza* 132 per la frazione 0,505, cioè 67, si ottiene la seconda altezza 1923. Sottraendo finalmente da quest' ultima la precedente altezza, cioè 293 da 1923, si ottiene l' altezza ricercata di 1630 metri.



CAPITOLO III.

DEL SIFONE , DELLE TROMBE , E DI ALTRE MACCHINE RELATIVE AL PESO ED ALL' ELASTICITA' DELL' ARIA.

1613. Il peso e la pressione dell' aria atmosferica elevano non solo il mercurio nel barometro , ma efficace rendono benanche il *sifone* , cioè quella specie d'apparato, con cui si travasano i liquidi. È questo un tubo curvo ABC (Tav. 21 fig. 13) di vetro o di metallo , con braccia diseguali , il di cui braccio corto AB s' introduce nel vase F contenente il liquido da travasarsi. Succhiandosi quindi in C, l' aria contenuta nel sifone rarefacendosi, non puole più equilibrare la colonna atmosferica gravitante sulla superficie del liquido. Obbligato perciò questo a salire nel sifone e riempirne la capacità , ne sorte poi e cade per C in forza del proprio peso, cagionando così uno sgorgo che continua , finchè il sifone resta alcun poco immerso. Riuscendo alquanto incommodo applicare la bocca all' estremo del braccio lungo, vi s'innesta il tubo laterale ACB (Tav. 21 fig. 14), detto *tubo di aspirazione*, aspirandovisi l'aria col tener chiuso l'orifizio D. Nel travasamento de' liquidi corrosivi si rigonfia il tubo di aspirazione in G, cioè verso la sua parte inferiore , per cumularvi il liquido ; e quando questo ha empito il piccolo globo si cessa di aspirare. Aperto allora l'orifizio D , prosegue per questo lo sgorgo del liquido.

1614. Supposte eguali le due braccia del sifone AB, EB (Tav. 21 fig. 13) , la colonna atmosferica , che

premendo sul liquido contenuto in F lo tiene sollevato nel braccio immerso AB, eguaglia quella che gravita sull'apertura E dell'altro braccio e che sostiene il liquido che lo riempie; ed atteso il perfetto equilibrio delle eguali colonne liquide AB, EB, il liquido non isgorga. Essendo però il braccio CB più lungo di AB, le due eguali colonne atmosferiche corrispondenti al livello AE equilibrano le due colonne liquide AB, EB; onde non resta per contrastare il peso della rimanente colonna liquida EC ed opporsi allo sgorgo, che la parte della colonna aerea EC compresa tra il detto livello e l'orifizio del sifone. Incapace però questa di equilibrare la corrispondente colonna liquida e sostenerla, perchè molto men densa di essa, la fa cadere; e poichè a misura che il liquido sgorga pel vuoto prodotto n'è tosto rimpiazzato da altro che dal vase vi accorre, perciò non cessa lo sgorgo che quando si è travasato tutto il liquido contenuto in F. Se il braccio emergente BG è più corto dell'immerso AB, le due eguali colonne atmosferiche corrispondenti al livello IG si equilibrano; e bilanciandosi scambievolmente le pressioni, non agisce sul liquido che la parte della colonna atmosferica AI contigua al braccio immerso, che non potendo, come nel caso precedente, spingere in alto, nè equilibrare la colonna liquida AI, la fa ricadere nel vase F; ma rimpiazzato immantinenti il vuoto dal liquido sovrapposto, tutto il liquore compreso nel sifone ricade nel recipiente. Per poter dunque agire il sifone, ineguali debbono esserne le braccia, ed il lungo dev'essere l'immerso. Derivandone poi l'azione dalla pressione atmosferica, talchè messo nel vuoto cade il liquido in ogni

braccio per la propria gravità; la distanza tra il livello del liquido da travasarsi e la sommità del sifone deve esser minore dell' altezza, a cui può la cennata pressione elevare il liquido che vuolsi travasare. Un sifone dunque per travasar l' acqua oltrepassar non dee i 33 piedi, ed i 28 pollici pel mercurio.

1615. Spiega la teoria del sifone la costruzione di un piccolo e grazioso apparecchio detto *Coppa di Tantalò*. Non è questa che un bicchiere (Tav. 24 fig. 15) con entro un piccol sifone, il di cui lungo braccio passa pel fondo. Versando acqua nel bicchiere in modo da non coprire il vertice del sifone , nulla si osserva ; appena però il livello del liquido supera un tal vertice, scorga il liquido pel braccio lungo; ed invano si versa altr' acqua nel bicchiere , poichè non mai si empie , e si vuota affatto non riaffondendovisi più liquido. Si modifica quest' apparato sostituendosi al sifone un tubo retto, aperto in ambi gli estremi, e sporgente dal gambo della coppa (Tav. 24 fig. 16), e coprendosi con altro tubo alquanto più largo e superiormente chiuso.

1616. S' intendono quindi gli effetti della *fontana intermittente*, così detta perchè sgorga ad intervalli. Il serbatoio AB di questo apparato (Tav. 24 fig. 17) è attraversato nella direzione del suo asse verticale dal tubo metallico D , il di cui estremo superiore poco dista dalla più alta parte C del serbatoio , e che ha nel piede un piccolo incavo *c* che mette in comunicazione l' aria contenuta nel serbatoio AB coll' esterna. Sorge stabile questo piede dal centro della vasca EF , che ha in *v* un piccol foro comunicante col serbatoio GH posto sotto di essa. Finalmente il serbatoio AB ha varii

alla parte superiore del medio C; ed il terzo G comincia dal fondo di questo vase C, e finisce nel centro e al di sopra del fondo della vasca AB. Riempito di acqua il vase C sino ad un certo punto, premendo sulla sua superficie l'aria interna al pari dell'esterna agente per l'orifizio G, resta il liquido allo stesso livello tanto nel vase C che nel cannello G; ma versandosi pel tubo E nel vase inferiore D un poco d'acqua, l'aria in questo compressa espellendosi in proporzione passa pel tubo F nel vase superiore C; aumentata quindi la forza elastica di quella che vi si contiene, elevandosi l'acqua nel tubo G, come nella fontana di compressione (§. 1590), monta in alto in forma di getto. A misura ch'essa cade nel bacino AB, passa pel cannello E nel vase D, mantenendo così la forza elastica dell'aria interna dei due vasi, alla di cui intensità corrisponde l'altezza del getto.

1648. Sono costrutte su questi principii le *trombe*, quelle macchine, cioè, con cui in alto si traggono i liquidi e specialmente l'acqua. Distinguonsi esse in semplici e composte. Si annoverano tra le prime la *tromba aspirante*, l'*elevatoria*, e la *comprimente*; e tra le seconde la *tromba aspirante ed elevatoria*, e l'*aspirante e comprimente*.

1649. La *tromba aspirante ed elevatoria* si compone di un cilindro metallico AB (Tav. 22 fig. 3) chiamato *corpo di tromba*, alla di cui parte inferiore è annesso il così detto *tubo di aspirazione* C prolungato fin'entro l'acqua che vuolsi attingere. Scorre nella tromba lo *stantuffo* D, che mediante l'asta E, attivata da una leva di prima specie, si alza ed abbassa. È desso munito

della valvola I che si apre dal basso in alto, ed altra simile F è apposta nel fondo del corpo di tromba in corrispondenza del tubo di aspirazione. Deprimendosi lo stantuffo per mezzo della leva, si chiude per il proprio peso la valvola F; ma sollevata la valvola I dalla forza elastica dell'aria compresa fra lo stantuffo e la valvola F, esce quest'aria per I. Alzandosi poi lo stantuffo, si forma al di sotto un vuoto, e la valvola I si chiude pel proprio peso e per l'atmosfera pressione, mentre l'altra valvola F si solleva per la forza elastica dell'aria compresa nel tubo di aspirazione. Diffusa quindi questa in parte nel vuoto formato al di sotto dello stantuffo, e diminuita in proporzione la sua forza elastica, la pressione dell'atmosfera sulla superficie dell'acqua fa montar questa nel tubo di aspirazione C sino a che il peso della colonna liquida innalzata e l'elasticità dell'aria contenuta nella tromba non siansi equilibrati colla pressione dell'aria esterna. Abbassandosi di nuovo lo stantuffo, si chiude la valvola F e si apre l'altra I, uscendone tutta l'aria diffusa nel corpo di tromba. Innalzandosi di nuovo lo stantuffo si apre la valvola F al chiudersi la I, e torna l'aria a diffondersi nel vuoto formato dallo stantuffo; e con queste successive elevazioni, e depressioni sempre più l'acqua sollevasi sul proprio livello, fino a snperare la valvola F. Entrata l'acqua nel corpo della tromba, ed abbassandosi lo stantuffo, questo calcando l'acqua fa sì che la stessa apra la valvola I e vi si metta al di sopra. Innalzandosi quindi di nuovo lo stantuffo si alza con esso l'acqua che gli sovrasta, essendo proprio delle valvole il far passare i liquidi ed i gas ed impedirne il regresso.

Coll' abbassarsi ed innalzarsi così lo stantuffo, si aumenta la massa dell' acqua ad esso soprastante , e giungendo sino al tubo laterale G sgorga al di fuori. Per render questa tromba efficace , la valvola F del corpo di tromba distar deve dal livello dell' acqua nel serbatoio non più di 32 piedi, non mai giungendo l' acqua alla valvola F oltre di questa altezza , per quanto vuoto vi si formi al di sopra , non potendo il peso dell' atmosfera equilibrare che una colonna di 32 piedi d' acqua (§§. 1579-1580).

1620. È munita la *tromba aspirante e premente* , come la precedente , della valvola A (Tav. 22 fig. 4) che si apre da sotto in sopra nel punto in cui il corpo di tromba comunica col tubo di aspirazione; ma lo stantuffo B non ha valvola ed è affatto solido , ed il tubo CD pel quale esce l' acqua comincia dalla base del corpo di tromba , ed è anch' esso dotato della valvola E. Abbassandosi quindi lo stantuffo B , si chiude la valvola A, e l' aria compresa tra A e B esce per la valvola E. Alzandosi poi lo stantuffo, si chiude la valvola E , si apre A, e l' aria compresa tra questa ed il livello dell' acqua si diffonde in parte nel vuoto formato sotto lo stantuffo. Facendosi quindi agir questo sufficientemente, si eleva ben presto l' acqua sulla valvola A. Abbassato allora lo stantuffo, preme e spinge l' acqua, che non potendo rifluire per la valvola A che si chiude, apre la E e vi monta al di sopra. Alzandosi così ed abbassandosi lo stantuffo, cresce l' acqua nel tubo laterale CD, e montando comincia a sgorgare per l' orifizio G. Anche in questa tromba dev' essere la valvola A sul livello dell' acqua ad un' altezza minore di 32 piedi.

benchè conservi la sua naturale trasparenza. L'aria dopo d'esserne a poco a poco impregnata, e dopo d'averli seco tenuto per più o men lungo tempo, li rende in diverse maniere in forma liquida o solida, quando sotto la temperatura e pressione del momento vi sono in eccesso. Questi vapori producono nell'aria ciò che dicesi *umidità, stato igrometrico*. Per conoscere i varii gradi di questa umidità, per valutare cioè la quantità de' vapori acquei mescolati coll'aria atmosferica, si sono inventati i così detti *igrometri*.

1624. Benchè non siavi corpo che non abbia per la acqua dell'affinità, pur'è dessa in taluni così eminente da poter esser *corpi igroscopici*, indici cioè dell'umido. Tali sono il legno, le ossa, l'avorio, i capelli, la carta, le ariste delle spighe, le corde di minugio e di canape, i sali deliquescenti, la più parte degli acidi, ed altri simili. Alcuni di questi sonosi impiegati dai Fisici per la costruzione degli igrometri, de' quali più degni di fiducia sono l'uno a capello di SAUSSURE, e l'altro ad osso di balena di DE LUC.

1625. Essendo il capello naturalmente coperto d'una materia grassa, che lo garantisce sino ad un certo punto dalla umidità; se ne priva facendolo bollire in una ben diluita soluzione di carbonato di soda o di potassa, e poi lavandolo e prosciugandolo. Così preparato si riduce ad $\frac{1}{5}$ della sua lunghezza dalla massima secchezza al massimo umido. Fissato quindi il capello *aa* (Tav. 22 fig. 6) coll'estremo superiore ad una pinzetta, ed avvolto stabilmente coll'inferiore ad una mobilissima puleggia *c*, su cui è fissato l'ago *n*, la di cui punta gira lungo l'arco graduato *mm*; è mantenuto verticale dal

contrappeso e di tre grani sospeso ad un fil di seta avvolto alla stessa girella. Quando per l'assorbimento dell'umido atmosferico il capello si allunga, il contrappeso fa girare la carrucola, e l'ago monta in alto. Verificandosi l'opposto per effetto del secco, i diversi moti dell'ago segnati sull'arco graduato indicano i varii gradi di umido o di secco.

1626. I termini estremi dell'arco graduato, quello cioè del massimo secco e l'altro del massimo umido, si determinano da SAUSSURE nel seguente modo. Messo, pel primo, l'igrometro in una campana, la di cui aria si dissecca introducendovi una lamina di ferro rovente aspersa di sotto-carbonato di potassa e di cloruro di calcio (muriato di calce), vi si lascia, finchè il capello più non s'accorci, ed in questo punto si segna zero, ossia massima siccità. Trasportato poi lo strumento in altra campana colla bocca sull'acqua e colle pareti bagnate, onde l'aria interna è soprassaturata di umido, il capello vi si allunga, e nel punto ove resta stazionario si segna 100, cioè il limite della massima umidità. L'intervallo poi compreso tra i due termini si divide in 100 parti eguali dette *gradi* (1).

(1) Corrispondendo l'ampiezza della scala alla sensibilità del capello, nel rimpiazzo di questo va apposta una nuova scala. Si è tolto questo grave inconveniente dietro alcune importanti modificazioni fattevi dal ch. CAV. DE SAMUELE CAGNAZZI, che rilevar si possono nella dotta sua Memoria inserita nel 1.^o Volume degli *Atti della Reale Accademia delle Scienze di Napoli*. L'igrometro di SAUSSURE si è anche semplificato nella costruzione e reso più esatto nelle indicazioni da BABINET. Nell'igrometro modificato pende il peso dal capello, di cui si misura l'allungamento, tragar-

1627. La sottilissima stecca d'osso di balena che funziona da corpo igroscopico nell'igrometro di De Luc è tagliata normalmente in direzione delle sue fibre, e tesa da una molla. Si ha il massimo secco mettendosi lo strumento in una campana d'aria ben prosciugata, ed il massimo umido immergendosi interamente la stecca nell'acqua.

1628. Esposto il capello o l'osso di balena all'aria è spinto da due forze opposte, da quella cioè del calorico che tende ad evaporizzare l'acqua del corpo igroscopico, e dell'altra cioè dell'affinità che gli fa assorbire e ritenere l'acqua. Prevalendo la prima forza, l'acqua si evapORIZZA, ed il corpo igroscopico, perdendone, s'accorcia; prevalendo la seconda forza, il corpo igroscopico assorbendo l'umido aereo s'allunga; e resta infine stazionario nell'equilibrio delle due forze. Questo equilibrio però si turba dalle variazioni di temperatura o di densità del vapore. Se mentre infatti l'igrometro è stazionario diminuisce la temperatura o cresce la densità del vapore; prevalendo l'affinità del corpo igroscopico, assorbe questo dell'acqua ed inclina l'indice verso l'umido ad un altro punto di equilibrio. Aumentata all'opposto la temperatura o diminuita la densità del vapore, prevalendo l'energia del calorico lascia il corpo igrometrico l'umido assorbito, e tende l'indice verso il secco ad un altro punto di equilibrio.

dando con un microscopio fisso un segno inciso sul peso. È attaccato il capello ad una vite micrometrica, con cui si alza e si abbassa, finchè il segno del peso coincida col filo del microscopio; ed il moto della vite micrometrica indica le variazioni della lunghezza del capello.

L'equilibrio igrometrico è quindi mobile, e dipende ad un tempo dalla copia del vapore e dallo stato termometrico. In queste igrometriche vicende tendono le due forze all'equilibrio; poichè a misura che il calorico evapORIZZA l'acqua, cresce l'affinità per l'acqua rimanente, ed a misura che il corpo igrometrico si sazia d'umido decresce l'affinità. Crescendo quindi e decrescendo le due forze si mettono naturalmente in equilibrio. Ond'è che l'allungamento del corpo igrometrico indica l'assorbimento dell'umido dall'aria; l'accorciamento che ne ha somministrato; e lo stato di riposo, l'equilibrio igrometrico.

1629. È quindi un grave difetto dell'igrometro il non essere, nè poter essere le sue variazioni proporzionali all'umido assoluto dell'aria. Risulta infatti dall'affinità del corpo igrometrico per l'acqua, che nell'estrema siccità per esempio trascorre l'igrometro 3° per una sola unità di differenza nella tensione del vapore, e nell'umidità estrema non cammina che di un grado per tre di differenza nella stessa tensione. Segnando poi l'igrometro 75° a 0° di temperatura, non indica che la quantità de' vapori sparsi nell'aria sia identica a quella che v'è quando segna 75° a 15° del termometro; ma che in ambi i casi è lo stesso il rapporto tra l'umido estremo alla medesima temperatura.

1630. Conosciuto da SAUSSURE questo difetto del suo istromento, ricercò i rapporti tra i diversi gradi del termometro e le corrispondenti assolute quantità di acqua. Il metodo all'uopo da lui serbato era il seguente. Chiuso l'igrometro in un globo contenente un dato volume di aria asciutta, vi metteva un pannolino inzuppato di

acqua per osservare di quanto peso questo scemava nel far percorrere all' indice un certo numero di gradi; od empito il globo di aria già satura d' umido , la riduceva a varii gradi di secchezza, osservando ad un tempo l'andamento dell' igrometro.

1631. Posteriormente GAY-LUSSAC con un metodo più semplice e rigoroso ha determinato la corrispondenza dell' igrometro con la tensione del vapore; talchè dal grado dell' igrometro rilevar si può la tensione, e da questa valutar quello. Ha quindi composto la seguente tavola.

Gradi dell' I- grometro	Gradi di umidità	Gradi del- l' Igrome- tro	Gradi di umidità	Gradi del- l'igrome- tro	Gradi di umidità
0	0 „ 00	34	17 „ 10	68	44 „ 89
1	0 „ 45	35	17 „ 68	69	46 „ 04
2	0 „ 90	36	18 „ 80	70	47 „ 19
3	1 „ 35	37	18 „ 92	71	48 „ 51
4	1 „ 80	38	19 „ 54	72	49 „ 82
5	2 „ 25	39	20 „ 46	73	51 „ 14
6	2 „ 71	40	20 „ 78	74	52 „ 45
7	3 „ 18	41	21 „ 45	75	53 „ 76
8	3 „ 64	42	22 „ 12	76	55 „ 25
9	4 „ 10	43	22 „ 79	77	56 „ 74
10	4 „ 57	44	23 „ 46	78	58 „ 24
11	5 „ 05	45	24 „ 13	79	59 „ 73
12	5 „ 52	46	24 „ 86	80	61 „ 22
13	6 „ 00	47	25 „ 59	81	62 „ 89
14	6 „ 48	48	26 „ 32	82	64 „ 57
15	9 „ 96	49	27 „ 06	83	66 „ 24
16	7 „ 46	50	27 „ 79	84	67 „ 92
17	7 „ 95	51	28 „ 58	85	69 „ 59
18	8 „ 45	52	29 „ 38	86	71 „ 49
19	8 „ 95	53	30 „ 17	87	73 „ 39
20	9 „ 45	54	30 „ 97	88	75 „ 29
21	9 „ 97	55	31 „ 76	89	77 „ 19
22	10 „ 49	56	32 „ 66	90	79 „ 09
23	11 „ 01	57	33 „ 57	91	81 „ 09
24	11 „ 53	58	34 „ 47	92	83 „ 08
25	12 „ 05	59	35 „ 37	93	85 „ 08
26	22 „ 59	60	36 „ 28	94	87 „ 07
27	13 „ 14	61	37 „ 31	95	89 „ 06
28	13 „ 69	62	38 „ 34	96	91 „ 25
29	14 „ 23	63	39 „ 36	97	93 „ 34
30	14 „ 78	64	40 „ 39	98	95 „ 63
31	15 „ 36	65	41 „ 42	99	97 „ 81
32	15 „ 94	66	42 „ 58	100	100 „ 00
53	16 „ 52	67	43 „ 75		

1632. Proseguite poi le stesse ricerche da AUGUST , MELLONI , e PRINSEP sull'umidità relativa corrispondente ai gradi dello stesso igrometro a capello, sono essi pervenuti a risultati alquanto diversi , che si espongono in rapporto nella seguente tavola.

Igrometro	Gay-Lussac	Prinsep	Melloni	August
100	100,0	100,0	100,0	100,0
95	89,1	88,7	90,8	94,0
90	79,1	78,2	83,1	86,0
85	69,6	68,3	76,5	79,0
80	61,2	59,2	68,9	74,0
75	53,8	50,6	62,0	64,0
70	47,2	43,6	55,6	56,0
65	41,4	37,2	49,6	48,0
60	36,3	31,5	44,0	41,0
55	34,8	26,3	39,1	36,0
50	27,8	21,8	34,6	31,0
45	24,1	17,7	29,8	27,0
40	20,8	14,3	27,0	23,0
35	17,7	11,4	23,8	19,0
30	14,8	9,1	19,0	16,0
25	12,0	7,1	16,4	13,0
20	9,4	4,9	11,7	10,0
15	7,0	3,0	8,3	7,0
10	4,6	1,6	5,0	4,0
5	2,2	0,6	2,6	2,0
0	0	0	0	0

1633. Interessanti sperienze sonosi ancora istituite da DESPRETZ per determinare il peso del vapore contenuto

in un metro cubico di aria alla stessa temperatura di 10° , ed a differenti gradi dell'igrometro a capello, contando da 0° a 10° , 20° , 30° sino a 100° . Eccone i risultati.

Gradi dell' Igrometro a capello.	Vapore contenuto in un metro cubo di aria.
0 gradi	0 gramme
10	0, 446
20	0, 922
30	1, 443
40	2, 028
50	2, 713
60	3, 541
70	5, 606
80	7, 976
90	7, 720
100	9, 761

1634. **LESLIE** ha proposto un igrometro, il quale non è che una modificazione del suo termometro differenziale (§. 810). Le sue due sfere sono alla stessa altezza e rivolte in senso opposto (Tav. 22 fig. 7). Per ovviare al più possibile all' influenza dell' azione solare son desse della stessa tinta ed opacità; l' una però è nuda, ricoperta l' altra di drappo di seta, il di cui colorito si rende più forte quando è bagnato. La sfera coperta si bagna prima mediante una barba di piuma con delle gocce di acqua pura, e poi resta costantemente umida per mezzo di alcuni fili di seta cruda non torti, che partendo dalla sfera s' immergono in una boccia piena di acqua distillata e sita alcuni pollici lungi dal-

l'igrometro. Si è reso questo strumento portatile mettendosi le due sfere in una linea verticale, e racchiudendolo in un astuccio d'avorio. Si bagna però in tal caso la sfera coperta con poche gocce di acqua distillata qualora vuolsi osservare.

1635. Il principio su cui questo igrometro si fonda è il seguente. Evaporandosi l'acqua abbassa la temperatura della sfera, ed il liquido contenuto nel tubo sale di alcuni gradi sino a rendersi stazionario. Essendo il freddo prodotto proporzionale alla evaporazione; se in una osservazione è il freddo metà del freddo massimo, manca all'aria metà del vapore necessario per la sua completa saturazione. Si gradua quindi siffatto igrometro determinando il massimo freddo, quello cioè prodotto in un'aria perfettamente asciutta. Questo strumento però non è tanto comodo quanto sembra a prima vista. Variando colla temperatura e pressione il freddo dell'evaporazione, vi è d'uopo delle tavole di quello prodotto a diverse temperature e pressioni (1). Comunque sia, è questo igrometro semplice e di facile costruzione, si può con esso immediatamente conoscere la quantità de' vapori esistente nell'aria, ed è meno alterabile degli igrometri costruiti con sostanze igrometriche. Qualunque però sia la costruzione dell'igrometro, non si può mai con esso istituire degli esperimenti comparativi, nè tanto esatti quanto coi termometri, essendo i corpi igroscopici molto meno omogenei dei termome-

(1) Nel tomo 15.^o del *Museum d'Istoire Natur.* vi è la tavola redatta da LESLIE per correggere le indicazioni del suo igrometro.

trici. I migliori corpi igrometrici infine essendo alterabili, perchè organici, non possono mostrare per lungo tempo con variazioni proporzionali nelle loro dimensioni le vicende della umidità atmosferica.



LIBRO QUINDICESIMO.

DELL' ACUSTICA.

CAPITOLO I.

DEL SUONO IN GENERALE, E DELLA SUA TRASMISSIONE
E RIFLESSIONE.

1636. Fissata per uno de' snoi estremi una ben lunga lamina di acciaio , scorrendovisi l' arco d' un violino , o percuotendosi con un martello , acquista un moto oscillatorio che di mano in mano semprepiù indebolendosi si estingue in fine del tutto. Accorciandosi la lamina, sono le oscillazioni più rapide e quasi invisibili ; sensibili però qualora vi si ponga sopra leggermente un dito. Accorciata poi sino ad un certo punto, sono accompagnate le oscillazioni da un suono che dura quanto durano le oscillazioni istesse , o cessa interrotte appena queste dal contatto di un corpo molle. Osservandosi gli stessi fenomeni nelle corde tese, nelle campane, ed in ogni corpo capace di produrre la sensazione del *suono* ; si conchiude di cagionarsi questo dalle rapide oscillazioni de' corpi. Riguardo all' elasticità di questi si è detto (§§. 108-506), che costrette le loro molecole ad allontanarsi dalle loro naturali posizioni tendono a ritornarvi, ma che soddisfatta questa condizione non potendo mettersi in quiete per l' acquistata velocità , debbono anzi continuare a muoversi in

opposta direzione, oscillando isocronamente più volte sino a che il grado della rispettiva elasticità il richiegga, e gli ostacoli al moto il permettano. Tutt' i corpi elastici sono dunque capaci di oscillare ; ma [i corpi oscillanti producono il suono ; tutti i *corpi sonori* sono quindi propriamente elastici.

1637. Sarà perciò un corpo tanto più sonoro , cioè darà suoni tanto più distinti , tra essi comparabili e di qualche durata, quanto è più grande la sua elasticità. Variando poi il suono per la natura del corpo che lo produce, e per la sua intensità, si è diversamente denominato *rumore, strepito, mormorio, tono, suono* e simili. Incalcolabile è la varietà dei suoni, e benchè siasi scoperta la causa delle loro principali modificazioni, molte di esse sono però ancora ignote. Quindi non solo notasi la differenza tra il suono grave e l'acuto, tra il forte ed il debole ; ma spesso si giudica pure esattamente della natura del corpo sonoro dalla qualità del suo suono. Distinguesi infatti la voce umana da quella di ogn' altro animale, e si avvertono i suoni de' varii istrumenti : il sibilo del vento, il mormorio delle acque , ogni specie di rumore prodotto da movimento , attrito, urto qualunque sono anche suoni , i quali benchè si ripetano dalla stessa cagione , cioè dalla vibrazione dei corpi, offrono però mille varietà inesplicabili, che i nostri sensi non pertanto riconoscono.

1638. I suoni , o sia le vibrazioni de' corpi sonori non possono sentirsi , che per mezzo dell' organo dell' udito. Il loro più ordinario veicolo è l'atmosfera. Posto infatti nel recipiente della macchina pneumatica su di un cuscinetto di cotone o di lana il castello di un

oriuolo atto a far suonare una piccola campana, e fatto il vuoto ; se per mezzo di un fusto , che attraversa dall' alto il recipiente , si procuri lo scatto della molla che rilasciata fa muovere il rotaggio , si vedrà urtare il martello continuamente la campana , senza sentire alcun suono.

1639. Si propaga questo nell' aria per mezzo di onde simili a quelle che si formano sulla superficie di un' acqua stagnante gettandovisi un sasso ; colla sola differenza che le onde acquose si producono su di un piano orizzontale, e le aeree in uno spazio sferico , di cui il corpo sonoro ne occupa il centro. Non potendosi produrre suono senza il tremito e le vibrazioni delle parti del corpo sonoro , queste parti tremole nelle loro successive condensazioni ed espansioni spingono e restringono le particelle dell' aria adiacente ; e permettendo nel loro ritorno allo stato primitivo l' allontanamento e l' espansione delle parti compresse, producono nell'aria ambiente oscillazioni analoghe a quelle del corpo sonoro. Avvenendo in ogni altro strato aereo ciocchè succede a quello ch'è in immediato contatto del corpo sonoro , la successiva condensazione di questi strati produce le così dette *onde sonore*, che si concepiscono come propagate dal centro alla superficie di una grande sfera. Ogni punto dunque del corpo sonoro è come un vertice comune di più coni o *raggi sonori*, composto ognuno di una serie inelcolabile di particelle mosse e sospinte , che trasmettono e propagano le proprie vibrazioni per sentieri rettilinei finchè qualche ostacolo lor non si opponga.

1640. Benchè per la perfetta elasticità dell' aria ,

questo moto oscillatorio longitudinale che da onda in onda propagasi, resti inalterato in ognuna di esse; si distribuisce però in una massa maggiore, cioè in maggior numero di particelle aeree; poichè ogni onda, quantunque della stessa lunghezza, cresce pur nondimeno in ampiezza a misura che sfericamente s'allontana dal centro di vibrazione. Ed essendo questo aumento in ragion del quadrato della distanza dal corpo sonoro, la stessa quantità di moto scema presso a poco nella stessa ragione. Ma il moto che si trasmette non è che vibrazione causa del suono; dunque decresce l'intensità di questo come il quadrato della distanza dal centro sonoro. Quindi ad una distanza doppia, tripla, quadrupla ec. . . si rende il suono quattro, nove, sedici . . . volte meno intenso.

1641. A misura dunque che propagasi si rende il suono più fioco fino a non sentirsi affatto; termine indicante l'estrema debolezza delle vibrazioni dell'onda sonora, che colpisce l'organo dell'udito in modo da non farvi una efficace impressione. Questa dispersione del suono in un mezzo molto esteso non avviene qualora propagasi in una massa d'aria limitata e ciliudrica. L'onda sonora non crescendo in tal caso di ampiezza, si comunica il moto vibratorio ad un numero sempre eguale di molecole aeree, onde propagasi il suono colla stessa forza ed intensità. Tanto si è provato da Biot, parlando a voce bassissima nell'estremo di un tubo degli acquedotti di Parigi lungo 951 metri, ossia 488 tese, con una persona sita all'altro estremo.

1642. È su questo principio fondata la costruzione

delle *trombe stentorofoniche*, dette ancora *trombe parlanti*, *trombe stentoree*, *telefoni*, o *portavoce*. Sono esse diversamente conformate; ma le più semplici e le migliori lo sono a cono tronco AB (Tav. 22 fig. 8). Partendo i raggi sonori dalla bocca di colui che parla per l'apertura A, ripercossi dalle pareti del tubo sortono paralleli all'asse CD, e quindi riuniti, ed efficaci ad una notevole distanza. Con un portavoce lungo 4 piedi si può parlare sino a 500 passi geometrici, ed a 2500 se è lungo 24 piedi. Son'essi perciò impiegati dagli Ufficiali di marina per emanare i loro ordini a malgrado il fischio de' venti, il rumor delle vele, ed il mugrito del mare.

1643. In pari circostanze è quindi l'ambiente tanto più atto alla propagazione del suono quanto è più denso, poichè crescendo colla densità l'elasticità dell'aria (§. 1588), eseguono le sue molecole le vibrazioni concepite con maggior velocità. Secondo gli esperimenti di PEROLLE, di PRIESTLEY, e di LESLIE è più intenso lo stesso suono propagato pel gas acido carbonico o pel gas ossigeno, come più densi dell'atmosfera, e meno intenso propagato pel gas idrogeno, perchè d'una debolissima densità. Ha sperimentato HUXBEE di crescere l'intensità del suono come il quadrato dell'elasticità dell'aria ambiente. E SAUSSURRE assicura che un colpo di pistola sulla cima del Montebianco produsse un rumore simile a quello di un fuoco d'artificio in una stanza. Si ode quindi più facilmente in alto un suono che venga da basso, ove l'aria è più densa, che in basso un suono che venga dall'alto in cui l'aria è più rara. Nell'aria aperta si diminuisce il

suono pel caldo e si accresce pel freddo. Ed in pari circostanze sono i suoni men forti nell' està che nell'inverno , essendo l' atmosfera men densa ed elastica nella prima delle due stagioni, e per opposte cagioni più intensi di notte che di giorno.

1644. Benchè i suoni manchino d' intensità a misura che si propagano nell' atmosfera , pure nulla perdono di velocità ; cangiando l' onda sonora , nella sua propagazione , di ampiezza e non di lunghezza. Sieno inoltre i suoni più o men gravi , più o meno acuti , sono tutti d' un moto egualmente celere, percorrendo lo stesso spazio nell' istesso tempo. Questa verità comprovata dai fatti giornalieri , e stabilita dagli Accademici Francesi nel 1738 , si è resa ora evidente da Biot. Facendo egli eseguire de' pezzi musicali da un flauto sonante in un estremo del menzionato tubo , ne sentiva perfettamente l' armonia nell' altro estremo dell' acquedotto. Avendo la musica una esatta misura certa , con che regola l' intervallo de' suoni successivi , se alcuni di questi propagati si fossero più presto ed altri più tardi , i pezzi musicali avrebbero dovuto sentirsi confusi ed alterati per la vicendevole miscela dei suoni precedenti o seguenti. Ma gli giungeano i suoni nella misura naturale , talchè la musica le riusciva sì grata come se l' avesse intesa da vicino ; è questa dunque una pruova di avere ogni suono la stessa velocità. Essendo infatti proporzionali i tempi alle lunghezze delle onde sonore che rappresentano gli spazii , la celerità de' suoni acuti o gravi dev' essere necessariamente la stessa.

1645. La propagazione quindi del suono non può essere istantanea , dovendosi impiegare un tempo com-

mensurabile nello scorrere un dato spazio. Perciò snsci-
 tandosi la luce ed il suono nello stesso punto ed istan-
 te, come nella esplosione de' caunoni, e delle altre ar-
 mi da fuoco; se un osservatore misuri accuratamente
 la sua distanza dal corpo risonante, calcolando il tem-
 po scorso tra la percezione della luce e quella del suo-
 no, ne conoscerà la velocità. Poichè reputandosi quella
 della luce come istantanea a qualunque distanza terre-
 stre (§. 899), il momento, in cui essa vedesi, identico
 deve considerarsi a quello della esplosione, a quello
 cioè in cui comincia a propagarsi il suono. Calcolando
 su questi dati LA CAILLE e MARALDI nel 1738, con
 esperimenti istituiti su d'una retta di 14636 tese fra
 Montley e Montmartre, fissarono la velocità del suono
 a 173 tese (337 metri) per secondo; e la commissio-
 ne istituita nel 1822 dall' Ufficio delle Longitudini di
 Parigi, composta dai celebri DE HUMBOLDT, ARAGO, PRO-
 NY, GAY-LUSSAC, MATHIEU, e BOUYARD, avendo con
 ogni rigore sipetuto queste indagini, dedussero esser
 questa velocità di 174,9 tese, ossia di 340,39 metri
 per secondo alla temperatura $+ 16$; ed a 331 metri,
 riducendo a 0° la temperatura dell' aria. Conoscendosi
 all' opposto la velocità del suono, si può determinare
 agevolmente una data distanza, come da una città as-
 sediata, da un vascello, o da un porto di mare. Basta
 per ciò moltiplicare per 340 metri il numero de' secon-
 di e delle loro frazioni che scorrono tra il lampo ed
 il rumore di un cannone.

1646. Il vento però in alcune circostanze influisce
 sulla trasmissione del suono alterandone la velocità. Co-
 spirando infatti colla sua direzione l' accelera, ed op-

ponendovisi la ritarda, e se vi spira normalmente non produce alcun effetto.

1647. I liquidi sono anche atti alla trasmissione del suono; poichè quello tramandato da un corpo immerso nell'acqua si sente da chi n'è fuori, ed al contrario. La propagazione del suono è nell'acqua più rapida che nell'aria: i marangoni perciò ed i pesci sentono molto bene quanto si fa intorno ad essi. Dagli esperimenti all'uopo istituiti da COLLADON e da STURM nel lago di Ginevra, risulta che nell'acqua è questa velocità di 1435 metri per secondo; su di che ha LA PLACE calcolato di essere la celerità del suono nell'acqua $4\frac{1}{2}$ volte maggiore che nell'aria. ARNIM poi e PEROLLE hanno osservato di essere l'intensità del suono propagato dai liquidi quasi in ragion diretta della loro densità; essendosi scoperto che il suono sentito a traverso dell'aria alla distanza di 8 picdi si sente nell'acqua a 20, nell'olio di oliva a 16, in quello di trementina a 14, e nell'alcool a 12.

1648. Gli esperimenti poi istituiti da HASSENFRATZ e GAY-LUSSAC ne' cunicoli delle cave di Parigi, provano di propagarsi il suono ne' solidi più celeremente che nei liquidi. E BIOT ha osservato che tale propagazione nei condotti di ferro fuso è 10 $\frac{1}{2}$ volte più celere che nell'aria. Perciò quei colpi di cannone che non possono sentire per mezzo dell'aria, perchè tirati alla distanza di 20 o di 30 leghe, si avvertono poggiando l'orecchio sul suolo.

1649. Se la massa aerea in cui il suono propagasi s'imbatte in un piano immobile, le molecole aeree dell'onda sonora, come sommamente elastiche, nel-

l'urtare contro questo ostacolo ne sono riflesse, formando l'angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione. E comunicando nel rimbalzo il moto acquistato alle successive molecole aeree, ritorna il suono dall'ostacolo nello spazio colla stessa velocità ed intensità del diretto, come se invece di ritornare indietro prolungato si fosse in linea retta al di là dell'ostacolo.

1650. Anche ne' luoghi chiusi, come nelle stanze, si tramanda il suono continuamente da un muro all'altro; e quando la stanza è a volta, o sono le sue pareti alquanto elastiche, dicesi che essa *risuona*, sembrando prolungarvisi il suono col succedere a se stesso in piccoli intervalli che non distingue l'orecchio tutte le impressioni che gli giungono quasi cumulate. Ma se l'ostacolo riflettente è ad una data distanza, passando in tal caso un notevole intervallo di tempo tra il suono diretto ed il riflesso, ne risulta l'*eco*, cioè la distinta ripetizione del suono prodotto. Perciò i Poeti personificando l'eco, riseder lo fanno nei monti, ne' boschi, o presso gli scogli.

1651. Per prodursi l'eco il suono riflesso deve giungere all'orecchio in $\frac{1}{10}$ di secondo dopo il diretto: imperciocchè giungendovi prima, il suono diretto ed il riflesso in tutto od in parte confondendosi insieme, la chiara e distinta ripetizione del suono non avrebbe luogo. La distanza quindi trascorsa dal suono nell'andare e ritornare dev'essere di 33,8 metri; cioè distando il corpo riflettente di 16,9 metri, si ha tra il suono diretto ed il riflesso l'intervallo di $\frac{1}{10}$ di secondo (§. 1644) richiesto per l'eco monosillabo. Crescendo que-

sta distanza nella ragione di $16,9^a \times 2 = 33,8^a$ sarà l'eco disillabo, ed essendo quella di $16,9^m \times 3 = 50,7^m$ sarà trisillabo, e così in prosieguo. Nelle vicinanze di Nancy vi è un eco che ripete un verso intero di VIRGILIO: *l'eco del parco di Woodetoch* in Inghilterra ripete di giorno 17 sillabe, e 20 di notte; qual differenza probabilmente deriva dal vario grado di elasticità dell'aria derivante dalla differenza delle temperature del giorno e della notte.

1652. Se in vece di uno più ostacoli posti a giuste distanze riflettono il suono, l'eco non sarà più semplice, ma composto; cioè lo stesso suono sarà più volte ripetuto. Tal'è, per esempio, il famoso eco del castello di Simonetta in Italia, che giunge secondo MUSCHENBROECK a riprodursi quaranta volte. È desso cagionato da due muri paralleli, in uno de' quali è una finestra, ove chi parla sente tutte le successive ripetizioni del suono.

1653. Vi sono degli edifizii costrutti in modo che per mezzo del suono riflesso producono de' meravigliosi effetti. Essendo proprietà dell'ellisse, che due raggi condotti dai fuochi ad un punto della curva facciano degli angoli eguali a quelli formati dalla tangente tirata al punto stesso; avviene che nella volta ellittica d'un muro tutti i raggi sonori che partono da uno de' suoi fuochi, dopo d'essersi riflessi su i diversi punti della volta passeranno a concentrare il suono nell'altro fuoco. Pronunziandosi quindi delle parole a voce bassa in uno de' fuochi, saranno distintamente intese da chi appressi attentamente l'orecchio all'altro fuoco; mentre nulla sentirassi da chiunque trovasi tra gli interlocutori. Di-

consi questi edilizii *sale* o *gabinetti parlanti*. Tali sono il Coro di S. Cosmo e Damiano in Roma ; la sala della così detta Cittadella , o Palazzo Regio di Piacenza ; la galleria di S. Paolo di Londra ; quella di Glocester, ove due persone s'intendono alla distanza di 25 tese parlando a bassa voce; la Cattedrale di Girgenti in Sicilia; la Grotta della favella nelle cave di Siracusa , ed altre simili.

1654. È con questo principio costruito il *cornetto acustico* , che supplisce ne' sordi al difetto dell'udito. La voce in questo strumento raccolta dall'apertura BC (Tav. 22 fig. 9), eccita nell'aria delle vibrazioni che urtando sul perimetro del paraboloide nel senso dei raggi paralleli DE, FG si raccolgono nel fuoco I , ove condensate ne producono una molta energica nell'aria dello stretto tubo IA , che ripercossa più volte sulle sue pareti , giunge a cagionare nell'orecchio per l'orifizio A una fortissima impressione.

1655. I suoni prodotti da più corpi sonori, propagandosi nell'aria si possono tra essi frastagliare ed incrocicchiare senza confondersi. Noi sentiamo infatti ad un tempo i suoni gravi ed acuti, e tutti quelli che simultaneamente produconsi dai varii strumenti in un concerto musicale. Per la spiega di questo fenomeno credè MAIRAN le particelle aeree variamente dense ed elastiche , e quindi atte a concepire oscillazioni più o meno celeri secondo la varietà de' suoni per produrre nell'udito diverse sensazioni (1). Così oscillando , per esempio , una corda musicale muove le mole-

(1) *Atti dell'Accademia delle Scienze di Parigi*, 1737.

cole aeree, che le sono per così dire unisone , perchè egualmente elastiche e tese. Perciò una corda unisona ad un tuono benchè non scossa, essendo vicina al corpo sonoro oscilla tramandando un suono; perchè disposta, secondo alcuni Fisici , a vibrare, agitata dalle onde aeree produce col moto un suono analogo. Essendo però gratuita questa ipotesi , si ebbe ricorso da altri Fisici alla proprietà delle onde eccitate sulla superficie d' un liquido , benchè in varie direzioni, di soprapporsi senza elidersi e confondersi. È poi più facile il concepir possibile questo fatto nelle onde aeree del suono, essendone le molecole infinitamente più sottili ed elastiche delle acquose.

CAPITOLO II.

DELLA FORMAZIONE DEI SUONI.

1656. Essendo elastico ogni corpo sonoro, eccitato al suono oscilla cambiando di forma (§. 1636). Percossa quindi una campana di metallo convenevolmente sospesa , cangia alternativamente la sua forma ora in ellittica *a a* (Tav. 22 fig. 10), ed ora in altra *c c* alla prima perpendicolare. Oltre però di queste generali oscillazioni concepisce ogni corpo sonoro nelle minime sue parti un tremito o parziale oscillazione senza di cui non si produrrebbero suoni chiari e distinti. Impedendosi quindi queste particolari oscillazioni si odono suoni sordi e confusi, come quando si ricopre di un velo la membrana del tamburo , od un corpo molle si appone ad una vibrante lamina sonora.

1657. Lo stesso avviene nelle corde armoniche degli strumenti musicali. Scossa una di esse comincia tosto ad oscillare formando la curva o vibrazione ACB (Tav. 22 fig. 11), e mentre ritorna alla posizione AB, forma coll' acquistata velocità nell' opposta parte l' altra curva ADB eguale alla prima ; e continua così ad oscillare facendo delle vibrazioni sempre minori finchè non si renda alla sua primiera e natural posizione.

1658. Producono queste oscillazioni i *toni* musicali, distinti in *gravi* ed *acuti*, secondo il minore o maggior numero di esse che in un dato tempo il corpo sonoro esegue. Tanto più acuto è il tono , quanto maggiore è il numero delle vibrazioni prodotte in un dato tempo ; e tanto più grave, quanto minore è questo numero. Rapidissime poi sono queste oscillazioni , giacchè si ha il tono più grave quando il corpo sonoro fa in un secondo 32 vibrazioni , e cessando oltre di questo limite ogni tono basso di esser percettibile. Così ne' tuoni più acuti si contano sino ad 8000 oscillazioni , oltre del qual limite cessano essi d'esser sensibili. È giunto però SAVART a produrre colle corde de' suoni sostenuti e continui mediante 14 oppure 16 vibrazioni semplici per secondo ; ed ha trovato possibili de' suoni ben distinti con 25500 ed anche 48000 semplici vibrazioni in un secondo (1).

1659. S' istituiscono gli esperimenti relativi con un apparecchio detto *tonometro* o *monocordo*. È questo una cassetta di legno ben sonoro (Tav. 22 fig. 12), su di cui è fissata in A per un estremo una corda di bu-

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.* tom. 47. p. 69 et 337..

dello o di metallo stirata dal peso D attaccato all'altro estremo; e per non impiegare una parte di questo peso a vincere l'attrito, riposa la corda sulla puleggia mobile B. Per variarne poi la lunghezza si trasporta il ponticello mobile C ove si vuole limitarla. Variandosi in questo strumento la grossezza, la lunghezza, e la tensione della corda, si hanno i seguenti risultati: 1.° Le corde della stessa lunghezza, grossezza e tensione, producono suoni unisoni con isocrone oscillazioni: 2.° Non variando che la lunghezza soltanto delle corde, il numero delle oscillazioni è in ragion inversa di essa: 3.° Differendo poi nella grossezza, il numero delle oscillazioni è in ragion inversa della stessa, ossia dei diametri delle corde: 4.° Diversificando infine la tensione, è il numero delle vibrazioni come la radice quadrata del peso che la produce. Fu la terza legge scoperta da PITTAGORA, paragonando fra essi i diversi suoni prodotti dai colpi di un martello del fabbro sull'incudine; e dicesi la quarta, *legge di TAYLOR*, per esserne stato questo lo scopritore.

1660. Rendendosi quindi poco tese corde di grosso diametro, ed aumentandosene di più in più la lunghezza, decresce in proporzione il numero delle vibrazioni, e si ottengono tuoni sempre più gravi; mentre diminuendosi il diametro e la lunghezza delle corde, ed accrescendosi successivamente la tensione, cresce in proporzione il numero delle vibrazioni, e risultano i suoni di più in più acuti.

1661. Tesa poi nel tonometro una corda in modo da produrre un tono qualunque, e situato nel suo mezzo il ponticello; il numero delle vibrazioni fatte in un

dato tempo da ciascuna metà è doppio di quello della intera corda ; mentre il tono di ogni metà essendo in perfetto accordo con quello della tutta , costituisce ciò che in musica si chiama *ottava*. Messo il ponticello ad un terzo della corda, il tono della terza parte più acuto rendendosi del precedente, l'ottava costituisce di quello prodotto dall'altra porzione che è $\frac{2}{3}$ della corda ; e quest'ultimo dicesi *quinta* del tono principale. Dividendosi così in appresso la lunghezza della corda, tutti i toni ottengono della *gamma* naturale , detta *scala diatonica*, per procedere ad *intervalli*, ossia per toni (1). I toni costituenti la scala musicale sono sette , e si esprimono colle *note* nell'ordine seguente, indicandosi con 1 il più basso.

Toni	}	Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si, Do
Numeri di vibrazioni		1, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{3}$, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{2}{3}$, $1\frac{3}{4}$, 2
Lunghezza delle corde	}	1, $\frac{8}{9}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{4}$

1662. Oscillando una corda in tutta la sua lunghezza fa anche delle vibrazioni parziali, i di cui centri sem-

(1) Dicesi in Musica *intervallo* la distanza tra due toni : così *do* , *re* è un intervallo di seconda , e *do* , *mi* uno di terza. Gli intervalli poi di quei toni , il di cui accordo è grato all'orecchio , diconsi *consonanze* , e tutti gli altri chiamansi *dissonanze*.

brano essere $a, a, a, \dots$ (Tav. 22 fig. 13), chiamati *ventri sonori*, ed i punti di separazione in riposo, c, c, c , chiamati *nodi*. È comprovato questo fatto dall'ingegnossissimo sperimento di SAUVEUR. Situati a determinate distanze, cavalcioni sulla corda, de' pezzetti di carta di due colori; appena è dessa posta in vibrazione saltano a terra tutti quelli di un colore che erano situati sui ventri, mentre quelli dell'altro situati sui nodi restano stazionarii. Non possono seguire siffatte parziali vibrazioni senza produrre de' toni; un orecchio esercitato giunge infatti a distinguerne sino a sei o sette, ma si vanno essi continuamente indebolendo. Risultano essi sempre da una suddivisione della corda in un intero numero di parti, cui sono a queste corrispondenti; e sono di quei che diconsi *toni armonici*, perchè sil' orecchio più grati, per distinguersi dal principale della corda intera detto *tono generatore*.

1663. S' intende quindi la particolar costruzione degli strumenti a corde. La lunghezza, la grossezza e la tensione delle corde somministrano in essi tutti i toni musicali (§. 1503). In alcuni, come nel clavicembalo e nell'arpa, sono i toni permanenti, essendovene tanti quante sono le corde; e si producono battendole coi tasti, o strappandole direttamente colla dita. In altri, come nel violino, nel contrabbasso e simili, cambiando convenevolmente per mezzo delle dita la lunghezza delle poche corde, se ne traggono i varii toni compresi nell'estensione dello strumento, che produce tre o quattro ottave, e nei più perfetti cinque tutto al più.

1664. Una membrana rettangolare tesa nel senso di

sua lunghezza può rendere i toni, e le vibrazioni delle corde; ma i nodi di vibrazione lungi dall'essere dei punti, non sono che linee trasversali immobili, dette *linee nodali*. CHLADNI, RICCATI, EULERO e BIOT hanno indagato i modi, in cui può vibrare una membrana tesa in varii sensi.

1665. Anche da lamine elastiche vibranti, di vetro o di metallo, si ricavano de' toni, se fermate o strette fra due dita si scuotono con un arco di violino, come dapprima eseguì CHLADNI. Asperse di polvere sottile, se ne dispongono le particelle in figure, che variano all'infinito coi toni, colla forma delle lamine, e coi punti ov'è fitta nello strettoio la lamina vibrante (Tav. 22 fig. 14).

1666. Le vibrazioni dei corpi sonori si trasmettono anche attraverso dell'aria e dei liquidi. Avvicinando SAVART ad una corda o ad un disco metallico in vibrazione, una lastra di vetro, di legno, di metallo, una membrana stirata, e simili, cospersa di sabbia, immanenti questa si muove, e saltellando si dirige in modo da provare che la direzione del movimento vibratorio trasmesso è parallela al movimento vibratorio primitivo. È per tal ragione che suonando un'organo i vetri delle finestre risuonano perchè sono nella suscettibilità di vibrare all'unisono del suono di quell'istrumento. La comunicazione poi delle vibrazioni per mezzo dell'aria è resa più evidente quando l'aria istessa è il corpo sonoro. Così avvicinando ad un disco metallico o ad un corista in vibrazione, un tubo chiuso in un estremo, e che renda lo stesso tono, questo risuonando riforma grandemente il suono di quello. Quindi s'inten-

de che le casse degli strumenti non servono soltanto a sostenere le corde e le membrane convenevolmente tese, come nei timbani e nei tamburri, ma benanche a rinforzare i toni, aggiungendo le proprie vibrazioni a quelle della corda o della membrana che le produce. È tale quest'azione, che il merito di un istrumento non consiste certamente nelle corde, le quali nel fatto producono i toni, ma bensì nella bontà della sua cassa. L'illustre SAVART ha di fatto provato, che in un violino tutte le parti dell'istrumento vibrano all'unisono delle corde; e che la forma, la curvatura, la posizione dell'*anima* che serve a comunicare il movimento alla lamina inferiore, la qualità del legname, hanno la più grande influenza sulla buona qualità dell'istrumento. Anche l'aria contenuta nella cassa contribuisce grandemente a rinforzare il suono: avendo la colonna d'aria in questi strumenti una larghezza d'assai maggiore della sua altezza, può in conseguenza rispondere ai diversi suoni ed ai loro armonici. Si può adunque conchiudere che messo in vibrazione una parte qualunque di un sistema, tutte le altre vibrano all'unisono; e che queste vibrazioni secondarie mentre rinforzano il suono, costituiscono la causa fisica di ciò che dicesi *timbro* dei suoni.

1667. I toni resi dagli strumenti a fiato dipendono dalle vibrazioni più o meno rapide della colonna d'aria contenuta ne' tubi. Sono esse analoghe alle vibrazioni longitudinali delle corde, eseguendovi l'aria degli alternati movimenti di dilatazione e contrazione. Può vibrare la colonna intera o divisa in una o più sezioni, dette *nodi di vibrazione*, talchè ogni nodo come *ab*, *cd*, *ef*, *gh* (Tav. 24 fig. 15) è uno strato d'aria immobi-

le, a cui s' accosta alternativamente o da cui s' allontana ogni porzione d' aria contigua. Ne risultano quindi varii toni , secondocchè vibra intera la colonna d' aria o divisa in più nodi.

1668. Dipendono però i toni ne' tubi dalla lunghezza ed elasticità della colonna e dal modo di soffiarla. Nell' organo sono i tubi lunghi quanto le onde sonore; ed in generale i toni degli strumenti a vento sono tanto più gravi quanto i tubi sono più lunghi , più lunga essendo la colonna d' aria. Poste quindi le altre cose eguali, il tono che si trae da un tubo è in ragion inversa di sua lunghezza. Perciò si allungano e si accorciano convenevolmente alcuni istrumenti, come il trombone, per averne diversi toni; ed in quelli forniti di buchi laterali si accorcia o si allunga la colonna d' aria aprendo o chiudendo questi , come nel flauto , nel clarino , nel fagotto , e simili. Intanto ne' tubi chiusi in un estremo ed aperti nell' altro , vibrando la colonna d' aria si avvicina tutta ed alternativamente si allontana dell' estremo chiuso , producendo con questo moto il tono più grave, di cui un tubo di data lunghezza sia capace. Essendo però aperti ambi gli estremi, si forma nel mezzo un nodo di vibrazione, ossia uno strato d' aria , su cui poggiano le due colonne aeree contigue , l' una contro l' altra ; facendo ciò le veci di una separazione fissa , come se avessero un fondo comune.

1669. Aumentandosi la spinta dell' aria ne' tubi aperti in ambi gli estremi od in un solo , le vibrazioni dell' aria divengono più rapide , i nodi di vibrazione si moltiplicano , e crescono i toni nel tubo chiuso come i numeri 1, 3, 5 e nell' aperto come 2, 4, 6

Oltre dunque la lunghezza della colonna d'aria, molto influisce alla produzione de' toni la maniera di soffiare all'imboccatura dei tubi.

1670. Dipende anche la produzione dei suoni dall'elasticità della colonna d'aria, rendendo più o men celeri le vibrazioni. Poste quindi le altre circostanze eguali, è indifferente che il tubo di un organo, o d'altro strumento a fiato, sia curvo o retto, spiegando l'aria in ogni senso la sua elasticità. E variando la temperatura dell'aria, sussistendo la stessa pressione atmosferica, cangia l'altezza de' toni; poichè tolta la proporzione tra la pressione e la densità, quanto più questa s'accresce o si diminuisce, tanto più o meno rapide sono le vibrazioni dell'aria. Perciò il medesimo strumento rende lo stesso tono tanto nel piano che nella cima d'un monte. Benchè l'aria sia in alto men densa; pure, variando in corrispondenza la forza che la preme, e restando eguale il rapporto della densità colla pressione, il numero delle vibrazioni necessarie alla produzione de' toni non si altera.

1671. Diversa è la maniera di metter l'aria in movimento negli istrumenti a fiato. Nella tromba e nel corno la sola azione delle labbra fa eseguire all'aria del tubo le vibrazioni necessarie a produrre il tale e tal altro tono. Le labbra ed una lamina aerea, che batte verso il taglio angolare dell'apertura, fanno vibrar l'aria nel flauto. Nel clarino passando impetuosamente l'aria per una stretta apertura, fa vibrare con una linguetta la colonna d'aria contenuta nel tubo. Quindi negli istrumenti a fiato è l'aria il corpo sonoro, e le loro varie forme non tendono che a modificare il tono, rendendolo

più acuto o più grave coll' eccitare nell'aria più o men rapide vibrazioni. La natura poi della sostanza di cui l'istrumento si compone, ha una ragione sul timbro, o *metallo del suono*, quantunque non valga ad alterarne sensibilmente il grado.

CAPITOLO III.

DEGLI ORGANI DELLA VOCE E DELL' UDITO.

1672. Uno de' più notabili fenomeni degli animali a polmoni è certamente il potere di produrre de' suoni, mettendo l'aria in vibrazione. Ciò costituisce la loro *voce*.

1673. Quando si è cercato di rendersi conto di siffatto fenomeno, si è quasi sempre mancato di sufficienti cognizioni fisiche per farne una felice applicazione, e forse la scienza stessa non ha ancor tanto progredito da somministrarne opportuni elementi. Nel suo stato attuale sembra prodursi la voce umana da un istrumento a fiato. In tale produzione infatti si accumula dapprima l'aria ne' polmoni per una preliminare ispirazione; spinta poi dall'azione de' muscoli espiratori, passa per un canale detto *trachea* od *asperarteria*. Risulta questo dalla riunione de' vasi aerei del polmone, come un tronco dalle radici, e mette foce verticalmente nella parte posteriore delle fauci. Ha quasi cilindrica la forma, e costa anteriormente di bassi segmenti annulari sovrapposti, e posteriormente d'una resistente membrana sparsa di fibre carnose, quasi compimento di tali segmenti. Termina questo canale nella parte superiore in una ca-

vità conformata in una specie di testa , e detta *laringe*. Costa questa di varie cartilagini (1), i di cui lembi superiori sono coperti da due ligamenti trasversali detti *corde vocali* , che formandovi una specie di labbra lasciano una piccola apertura di figura quasi ellittica , o meglio triangolare isoscele coll' apice in avanti. Dicesi questa apertura *glottide*, ed *epiglottide* un' altra cartilagine ovale, ed elastica , che le sovrasta, simile ad una lingua fissa nella sua base, ed atta a chiuderla perfettamente. È quest' ultima sempre alquanto sollevata per render libera la respirazione, e non chiudersi che nella deglutizione de' cibi e delle bevande , che necessariamente debbono passarvi al di sopra per introdursi nell' *esofago* , nel canale cioè che conduce al *ventricolo*. Sembra però secondo MAGENDIE di non esser questo il vero uso dell'epiglottide, essendovi animali di essa privi, come gli uccelli ed i rettili, ed uomini della stessa privati per causa morbosa , i quali deglutiscono senza passare i cibi nella laringe , perchè la glottide naturalmente costringesi nell' atto della deglutizione per l' azione de' muscoli circostanti. Sembra quindi l' epiglottide esclusivamente destinata a diversi movimenti , abbassandosi ed elevandosi sulla glottide, per modificare la velocità dell'aria che n'esce.

(1) Le cartilagini che compongono il laringe sono sette , cioè le due *tiroides* , dalla di cui unione dalla parte anteriore componesi il così detto *pomo di Adamo* ; la *cricoidea* ; le due grandi *aritenoides* , e le due piccole. Tutte queste cartilagini giocando tra loro per l' azione de' delicati muscoli e de' ligamenti , contribuiscono all' allungamento ed al restringimento della *glotta*.

1674. Riguardarono gli antichi l'organo della voce come un flauto. Fin dal principio dello scorso secolo considerò DODART la trachea come uno strumento da fiato, facendo dipendere tutte le variazioni della voce dallo stringersi ed allargarsi dalla glottide, e propriamente dei così detti *ventricoli campaniformi*. Provò FERREIN erronea questa opinione (1) assodando con particolari esperimenti di esser l'organo vocale uno strumento misto, cioè composto ad un tempo di uno da corda e di un altro da fiato. Tolte infatti dalla laringe di un animale di fresco morto le corde vocali, l'aria per quanto più o meno impetnosamente traversi la laringe più o meno aperta, non produce alcun suono. Ha luogo poi questa produzione, se le corde vocali più o meno stirate nella loro natrnl situazione siano opportunamente vibrare dall'aria che s'insinua attraverso della glottide più o meno dilatata. Nella formazione quindi de' tuoni acuti, si solleva, secondo lui, la laringe alquanto in su per forza de' suoi muscoli; onde le varie sue cartilagini allontanandosi le une dalle altre stirano le corde vocali ad esse aderenti. Tese queste in tal modo ed obbligate a vibrar frequentemente in forza dell'aria espirata dai polmoni, producono un suono tanto più acuto quanto è maggiore il grado di loro tensione (§. 1660). Abbassandosi al contrario il laringe nei tuoni gravi, le corde vocali si rallentano, le vibrazioni non sono sì frequenti, ed i tuoni che si producono debbono esser più gravi (§. 1660). L'innalzamen-

(1) *Mém. de l'Acad. des Scien. de Paris*, An. 1741 — 1743.

to della laringe ne' toni acuti e la sua depressione nei gravi sono resi evidenti ne' cantanti dalla *cartilagine tiroidea*, detta comunemente *pomo di Adamo*, una delle componenti il laringe (1). I varii suoni così formati nell' uomo sono poscia modificati dalla bocca o dalle labbra, perfezionandovisi anche in parole per esprimere i risultati del pensiero.

1675. SAVART osserva però in una *Memoria sulla voce umana* (2), che gli sperimenti di FERREIN provano tutto al più esser il laringe uno strumento a corde vibrante dall' aria espirata. Rigettata quindi l' opinione di quest' autore, e l' altra del laringe considerato come uno strumento a fiato a linguetta libera, sostiene che producesi la voce umana come il suono nel flauto, e che la piccola colonna d' aria contenuta nel laringe e nella bocca, per l' elasticità delle parti che la circoscrivono e pel modo ond' è vibrata, può produrre de' suoni molto più gravi di quelli che sembra poter formare per le sue dimensioni. Egli paragona infine l' organo della voce ad un piccolo strumento, detto *richiamo*, col quale i cacciatori imitano la voce degli uccelli. È questo strumento una specie di piccolo tamburo, con due fori centrali nelle due opposte facce, che si chiude fra le labbra; aspirando poi l' aria con forza maggiore o mi-

(1) Distinguono i musici quattro specie di voce umana, quella cioè di *basso*, di *tenore*, di *contralto*, e di *soprano*. Canta il basso le note più gravi; il tenore le medie; il contralto l'ottava alta del basso; ed il soprano l'ottava alta del tenore. Gli uomini poi, in generale, cantano da basso e da tenore, e le donne da contralto e da soprano.

(2) *Ann. de Chim. et de Phys.* tom. 30.

nore, si ottengono i diversi suoni. Applicato questo istrumento su di un portavento, si può ottenere una serie di suoni che comprende l'estensione di due ottave, variando solo la velocità della corrente. Il diametro dei due fori ha molta influenza sulla gravezza od acutezza de' toni ottenuti colla stessa velocità di vento. SAVART ha saputo conoscer la cagione che produce in questo congegno i diversi suoni: è dessa la seguente. La corrente aerea che traversa i due orifizii spinge innanzi a se una porzione della massa d'aria contenuta nella cavità del tamburo, la di cui elasticità venendosi per tal modo a diminuire, non può più equilibrare la pressione dell'esterna atmosfera: questa perciò coll'eccesso della sua forza premente reagisce per diminuire la velocità della corrente, e ritenere nel tamburo una massa d'aria maggiore di quella che vi è contenuta nello stato di equilibrio; quest'aria così compressa, per l'aumentata elasticità, e per effetto della corrente aspirata, che continuamente viene da fuori, soffre una novella rarefazione, la quale è immantinenti seguita da un'altra condensazione. Tutte queste alternative ripetendosi con bastevole rapidità, eccitano delle onde sonore, a cui risultano proporzionali i suoni che ne derivano. Quindi l'autore ne deduce l'analogia tra questo piccolo apparecchio e l'organo della voce: i due orifizii formati dalle labbra della glottide tengon luogo de' due fori del richiamo; i ventricoli costituiscono il tamburo; ed il portavento con cui lo si fa suonare è rappresentato dall'apparecchio polmonare. Ed essendo giunto ad avere da una canna delle stesse dimensioni del condotto vocale, e capace di una tensione variabile in una parte

della sua estensione , un gran numero di suoni , i quali prendevano nella scala musicale lo stesso spazio della voce umana , si ebbe da questa esperienza una conferma dell' addotta analogia.

1676. Secondo questa dottrina , la colonna d'aria che passa per la laringe vibra all' unisono dei suoni prodotti nella glottide. La gola, la bocca, e le fosse nasali hanno la più decisa influenza sull' intensità, e sul timbro del suono , non altrimenti che l' ha il tubo superiore degli strumenti a linguetta. Di fatto basta comprimersi colle dita il naso , perchè , cessando l' aria di sortire per le fosse nasali , la voce prenda un timbro particolare.

1677. In seguito di molte ricerche sperimentali , recentemente istituite da MÜLLER , WESER ed altri , l'organo vocale dell' uomo è da riguardarsi come uno strumento a linguetta a due labbra membraniformi. MÜLLER è giunto ad ottenere da una laringe artificiale con linguette di gomma elastica, suoni molto analoghi a quelli che darebbe la laringe umana. Questo esperimento , che si verifica anche quando vi è un foro fra i due legamenti , cioè nella cassa del richiamo , è molto in opposizione alla teoria di SAVART.

1678. Comunque intanto formisi la voce, è dessa variamente articolata dai moti della lingua, e delle labbra, e modificata dai denti , e dalla cavità del palato. Nell' atto poi del parlare chiude il *velo palatino* esattamente il forame delle fosse nasali, non permettendo l' uscita all' aria vibrata che per la bocca. Qualora siffatta chiusura non è perfetta, una parte dell' aria esce pel naso, producendo così un accento disagiata, facendo cioè come diecsi *parlare col naso*.

6679. Nulla poi più umiliante la umana vanità dell'ignoranza, dopo i travagli per tanti secoli eseguiti, sul modo con cui l'organo destinato alla percezione de' suoni esegue le sue funzioni. Quest'organo è appunto l'*orecchio*. Per intenderne la complicata struttura fa d'uopo distinguervi tre parti principali, cioè la *cavità esterna*, la *media*, l'*interna*. La prima, naturalmente visibile, si compone della fibro-cartilagine detta *padiglione* dell'orecchio, o *orecchio esterno*, che termina al di dentro nel *canale uditorio*, tubo alquanto tortuoso, in parte osseo ed in parte cartilagineo, dotato di una specie di cerume di color arancio, della consistenza della cera molle, e di sapore amarissimo, atto ad arrestare qualunque insetto od altro corpo estraneo nuotante nell'atmosfera, che offender potesse in qualche modo un organo sì delicato, a render alquanto morbido il canale dell'udito, e forse anche a moderare l'eccessivo impeto delle onde sonore negli strepiti violenti. È chiuso affatto il fondo di questo canale da una resistente, ma sottile membrana, detta *membrana del timpano*, attraversata da un filamento nervoso, e suscettibile di maggiore o minor tensione per agitarsi al più debole impulso, e limitare intanto l'ampiezza de' suoi movimenti, che offenderebbero la delicatezza dell'organo. Succede a questa membrana la cavità media, detta *cassa del timpano*, in cui mette foce un piccol condotto conico, detto dal nome dello scopritore *tromba Eustachiana*, che aprendosi nelle fauci accessibile si rende all'atmosfera. Sono in questa cavità quattro ossetti, uno de' quali detto *martello* per la sua conformazione, aderisce con un suo estremo al

centro della membrana del timpano, e coll' altro , che ne rappresenta la testa, tocca e mette in moto un altro ossetino detto *incudine* per la sna forma. Ha questo un piede attaccato per mezzo di un piccolissimo *osso orbicolare* alla sommità di un ossicello, che ha la forma e quindi il nome d' una *staffa*. Chiude questa colla sna base un *foro ovale* , da cui si passerebbe attraverso d' una parete ossea nella terza cavità , se non fosse chiuso da un sottilissimo *velo membranoso*. Segue quindi dopo la cassa del timpano la terza cavità , detta *laberinto* per i suoi varii andirivieni. Dividesi questo in tre parti. Dicesi la *media vestibolo* , potendosi riguardare come una specie di anticamera , da cui si passa nelle altre due parti , dette per la loro conformazione *coclea* o *chiocciola* l' una , e *canali semicircolari* l' altra. È divisa la chiocciola longitudinalmente da un tramezzo osseo-membranoso , detto *lamina spirale*, in due canali , l' un de' quali conducendo al vestibolo dicesi *scala del vestibolo* , e l' altro *scala del timpano* aprendosi nella cavità di questo per mezzo di una sottile membrana detta *timpano secondario*. I tre canali semicircolari son rivestiti , al pari della chiocciola e del vestibolo, di una polpa nervosa derivante dallo sfocamento del *nervo acustico* (1), e secondo la scoperta dell' illustre Corugno ripieni di una tenue linfa (*linfa Cotunniana*), nella quale nuota ancora porzione di detto nervo.

1680. Le vibrazioni quindi dell' aria , rese forse più

(1) Porzione molle del settimo paio ; l' ottavo de' nervi encefalici secondo i moderni Anatomici.

vigoroze ed intense dalle riflessioni prodotte dalle pareti dell'esterna cavità dell'orecchio, urtano la membrana del timpano, che vibrando comunica la sua vibrazione all'aria contenuta nell'interna cavità della cassa del timpano, non meno che al martello ed agli altri contigui ossetti, messi in azione da delicatissimi muscoli. Le vibrazioni di questi ossi facendo alternativamente coprire e scoprire dalla staffa il foro ovale, comunicano al velo membranoso, che lo chiude, il moto degli ossetti e la vibrazione dell'aria, di cui partecipa ancora il velo che chiude il forame rotondo. Passan questi moti dal velo membranoso all'acqua del labirinto, in cui diffusi, secondo gli esperimenti di SAVANT (1), come si diffonderebbero in un solido od in un gas, affettano la sostanza nervosa, destando in modo affatto ignoto la sensazione del suono.

1681. Il padiglione dunque ed il canale uditorio più forte rendono l'impressione de'suoni nell'orecchio. Intasato infatti il meato da materie estranee, è quasi distrutto l'udito; ed ingrandito in qualche modo il padiglione dalla mano formando una concavità rendonsi i suoni più intensi. Non riflette il padiglione i raggi sonori sulla membrana del timpano; poichè essendo quello di forma concava, tutte le riflessioni debbono seguire al di fuori di esso, per avere ogni superficie concava il suo foco innanzi ad essa.

1682. Così credono alcuni prodursi le sensazioni dell'udito; ma secondo le osservazioni patologiche, mancando la membrana del timpano, od essendo per-

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.* T. 31 pag. 290.

forata, non essendovi tutti gli ossetti, od essendo disarticolati, sentonsi i suoni, benchè languidamente; e per tale sensazione non è forse necessaria che la sola polpa nervosa del vestibolo, non mancando mai secondo FLOURENS in ogni specie di animali. È pur noto che una vibrazione comunicata a varie parti del capo fa sentire il suono. Secondo i curiosi esperimenti di WOLLASTON (1) l'aria rarefatta nella cavità del timpano rende gli uomini sordi ai suoni molto gravi, e non si avvertono i suoni acuti in varie circostanze senza conoscerne la cagione. S'ignora egualmente la causa della sordità che soffrono nell'aria molto rarefatta, o poco dopo d'esserne usciti, i viaggiatori su monti altissimi o nei palloni volanti; e nell'aria molto condensata i palombari, sordità simile a quella che segue in alcuni quando notabilmente e rapidamente varia l'altezza del barometro.

1683. Parlandosi delle vibrazioni de' corpi solidi si è detto che quando queste non oltrepassano il numero di 32 per secondo, non possono produrre un suono efficace (§. 1657). E secondo WOLLASTON i suoni acutissimi finiscono impercettibili all'orecchio giusta la varia struttura individuale, talchè vibrare innanzi a più persone delle piccole lamine elastiche di grado in grado più corte, v'è un momento in cui il suono non più inteso da alcune di esse lo è ancora delle altre. Tutte le condizioni fisiche della sensazione del suono non trovansi dunque nel nostro orecchio che tra due limiti.

(1) *Philos. Transact.* 1820.

Era ciò indispensabile all' uso di quest' organo , e non è mica un difetto , poichè potendo sentire tutti i suoni che si producono nell' universo ne saremmo continuamente storditi senza distinguerne alcuno.

FINE DEL SECONDO VOLUME.



INDICE

LIBRO VIII.

DEL CALORICO.

CAP. I.	Cenno del sistemi sui fluidi imponderabili.	5
CAP. II.	Del calorico , e della sua proprietà espansiva.	11
CAP. III.	Causa de' diversi stati de' corpi, e del calorico latento	27
CAP. IV.	Del calorico specifico.	36
CAP. V.	Del calorico raggianto	46
CAP. VI.	Della propagazione e dell'equilibrio del calorico	67
CAP. VII.	Sorgenti del calorico	79
CAP. VIII.	Del calore animale.	84
CAP. IX.	Della natura del calorico.	97

LIBRO IX.

DELLA LUCE.

CAP. I.	Della luce in generale	106
CAP. II.	Della luce diretta	110
CAP. III.	Delle ombre	116
CAP. IV.	Della luce riflessa	123

ART. I.	Degli specchi piani	128
ART. II.	Degli specchi concavi	136
ART. III.	Degli specchi convessi	147
ART. IV.	Degli specchi composti e misti	151
CAP. V.	Della refrazione semplice della luce	153
CAP. VI.	Della luce refratta dai vetri sferici	166
CAP. VII.	Della luce refratta dai prismi, e della sua decomposizione	181
CAP. VIII.	Dell'acromatismo	204
CAP. IX.	Degli anelli colorati, e de' colori permanen- ti ed accidentali de' corpi.	208
ART. I.	Degli anelli colorati	210
ART. II.	De' colori permanenti de' corpi	218
ART. III.	De' colori accidentali de' corpi	225
CAP. X.	Della doppia refrazione	228
CAP. XI.	Della polarizzazione della luce.	237
CAP. XII.	Della diffrazione della luce	256
CAP. XIII.	Dell'occhio e della visione	260
CAP. XIV.	Degli strumenti ottici	277
CAP. XV.	Spiegazione de' precedenti fenomeni coll'ipo- tesi delle ondulazioni, e paragone di que- sta con quella delle emissioni	309

LIBRO X.

DELL' ELETTRICITA' STATICA.

CAP. I.	Della macchina elettrica, e delle ipotesi ad- dotte per spiegare i fenomeni elettrici.	345
CAP. II.	Dell'atmosfera elettrica e della sua influen- za; dell'elettroforo e del condensatore	355
CAP. III.	Della legge secondo cui varia la forza elet- trica, e sue conseguenze.	368
CAP. IV.	Delle attrazioni e ripulsioni elettriche, e de- gli elettrometri	377
CAP. V.	Dell'elettricità luminosa, e del potere delle punte	384

<u>CAP. VI.</u>	<u>Della boccia di Leida , e delle batterie elettriche</u>	<u>393</u>
<u>CAP. VII.</u>	<u>Dell'elettricità svolta dalle azioni meccaniche.</u>	<u>405</u>
<u>CAP. VIII.</u>	<u>Uso medico della elettricità</u>	<u>410</u>
<u>CAP. IX.</u>	<u>Spiegazione de' precedenti fenomeni secondo l'ipotesi Symmoriaana</u>	<u>412</u>

LIBRO XI.

DELL' ELETTRICITA' DINAMICA.

<u>CAP. I.</u>	<u>Sperimenti Galvanici</u>	<u>424</u>
<u>CAP. II.</u>	<u>Degli apparati elettro-motori</u>	<u>428</u>
<u>CAP. III.</u>	<u>Degli effetti degli apparati elettro-motori</u>	<u>439</u>
<u>CAP. IV.</u>	<u>Dell' elettricità sviluppata dal calorico</u>	<u>500</u>
<u>CAP. V.</u>	<u>Dei pesci elettrici</u>	<u>508</u>

LIBRO XII.

DEL MAGNETISMO.

<u>CAP. I.</u>	<u>Fenomeni generali del magnetismo</u>	<u>524</u>
<u>CAP. II.</u>	<u>Dell' attrazione o ripulsione magnetica</u>	<u>525</u>
<u>CAP. III.</u>	<u>Della magnetizzazione , e delle calamite artificiali</u>	<u>527</u>
<u>CAP. IV.</u>	<u>Dell' azione della terra sulle verghe magnetizzate , e della declinazione ed inclinazione dell' ago magnetico</u>	<u>531</u>
<u>CAP. V.</u>	<u>Della scambievole azione delle calamite , e de' varii corpi.</u>	<u>539</u>
<u>CAP. VI.</u>	<u>Ipotesi sul magnetismo</u>	<u>552</u>

LIBRO XIII.

DELL' ELETTRIO-MAGNETISMO.

CAP. I.	Dell' azione delle correnti elettriche sugli aghi magnetici	559
CAP. II.	Azione delle correnti sulle correnti, delle cor- renti sulle calamite, ed ipotesi sulla cau- sa del magnetismo	566
CAP. III.	Delle correnti indotte	596

LIBRO XIV.

DELL' ARIA.

CAP. I.	Delle proprietà dell' aria atmosferica. . .	619
CAP. II.	Del barometro	634
CAP. III.	Del sifone, delle trombe, e di altre mac- chine relative al peso ed all' elasticità del- l' aria	647
CAP. IV.	Dell' igrometria	654

LIBRO XV.

DELL' ACUSTICA.

CAP. I.	Del suono in generale, e della sua trasmissi- one, e riflessione.	665
CAP. II.	Della formazione dei suoni	676
CAP. III.	Dell' organo della voce o dell' udito . . .	685





